



Tielaitos

Liikenteen sujuvuus tietyömaalla

**Tielaitoksen
sisäisiä
julkaisuja**

44/1999

Helsinki 1999

**TIEHALLINTO
Uudenmaan tiepiiri**



Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja
44/1999

Liikenteen sujuvuus tietyömaalla

Tielaitos
TIEHALLINTO
Uudenmaan tiepiiri

Helsinki 1999

TIEL 4000224

Oy Edita Ab
Helsinki 1999

Julkaisua saatavana:
Tielaitos, Uudenmaan tiepiiri



Tielaitos
TIEHALLINTO
Uudenmaan tiepiiri
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihde 0204 44 150

Asiasanat: tietyömaa, vaikutukset, mikrosimulointi, ajokustannukset

Tiivistelmä

Tämän selvityksen tavoitteena oli käydä läpi niin koti- kuin ulkomaisetkin vilkasliikenteisten väylien työmaiden suunnitteluohjeet ja -käytännöt liikenteen sujuvuuden kannalta sekä laatia kirjallisuustutkimus tietyömaiden liikenteen sujuvuudesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Lisäksi työssä tavoitteena oli selvittää liikenteelle työmailla aiheutuvien viivytysten aikakustannusten suuruusluokka.

Nykyisin tietyömaan liikennejärjestelyt suunnitellaan usein yhtenä osana työmaan muita järjestelyjä. Työmaiden liikenneturvallisuuteen osataan kiinnittää huomiota, mutta liikenteen sujuvuus ei ole keskeinen suunnittelupiste.

Työssä selvitettiin kotimaisen suunnittelukäytännön lisäksi myös millaisia suunnittelukäytäntöjä ja -ohjeita on käytössä Ruotsissa, Saksassa ja Iso-Britanniassa. Lisäksi tehtiin kirjallisuustutkimus työmaaolosuhteissa ruuhkautuneen liikenteen ominaisuuksista.

Tietyömaiden liikenteen sujuvuuden tyydyttävä arviointi edellyttää hyvin yksityiskohtaista tarkastelua ja käytännössä sellainen on mahdollista vain mikrosimulointiohjelmilla. Osana selvitystä laadittiin HUTSIM-mallit Pakinkylän eritasoliittymätyömaasta ja Länsiväylän meluestetyömaasta. Malleilla arvioitiin liikenteelle aiheutuvia viivytyksiä sekä testattiin muutamien toimenpiteiden vaikutuksia liikenteen sujuvuuteen. HUTSIM-ohjelmaa kehitettiin yhteistyössä Teknillisen korkeakoulun kanssa paremmin kuvaamaan ruuhkautuvien pääväylien olosuhteita.

Liikenteelle tietyömaista aiheutuvien viivytysten aikakustannuksia arvioitiin kolmessa kohteessa. Aikakustannukset vaihtelivat huomattavasti kohteittain liikenteelle aiheutuvien viivytysten määrän mukaisesti. Pakinkylän eritasoliittymätyömaalla aiheutui Kehä I:n liikenteelle vuoden aikana viivytyksiä yhteensä 36 milj.mk:n edestä, kun Länsiväylän meluestetyömaalla vastaava luku oli 7,6 milj.mk. Pitkäaikaisissa työkohteissa aikakustannukset perustelevat helposti mittaviakin työnaikaisia järjestelyjä, joilla liikenteen sujuvuutta voidaan parantaa.

Tulosten perusteella jälkikäteen "taskulaskin"-tarkkuudella tehdyt viivytyksien aikakustannuslaskelmat antavat hyvin tarkasti samansuuruisia tuloksia kuin mikrosimulointimallikin. Mikrosimulointimallilla avulla pystytään tutkimaan erilaisten työjärjestelyjen ja työn vaiheistuksen vaikutuksia, mihin ei muilla keinoilla pystytä.

Esipuhe

Vilkasliikenteisillä pääteillä olevista tietöistä voi työmaajärjestelyjen vuoksi helposti aiheutua merkittävästi haittaa liikenteen sujuvuudelle. Työmaan suunnittelussa joudutaan tekemään kompromisseja liikenteen sujuvuuden sekä työnaikaisten liikennejärjestelyjen laajuuden ja kustannusten välillä. Liikenteen sujuvuus työmaan kohdalla ei ole tähän mennessä ollut kriittisin työmaajärjestelyjen arviointiperuste.

Tämän työn tavoitteena on selvittää merkittävistä tienrakennushankkeista liikenteelle aiheutuvien ajokustannusten lisäyksen suuruusluokkaa sekä arvioida mahdollisuuksia pienentää kustannuksia työmaalla toteutettavilla toimenpiteillä. Lisäksi on selvitetty edellytyksiä ja keinoja työmaiden liikenteen sujuvuuden arviointiin.

Työn tilaaja Uudenmaan tiepiirissä on ollut dipl.ins Leo Koivula. Työtä on valvonut ja ohjannut lisäksi Sujuvuustiimi, johon ovat kuuluneet yks.pääll. Pekka Kontiala, rak.mest. Heikki Hietavirta, dipl.ins. Kari Pipinen, tiemest. Alpo Heinonen, dipl.ins. Ilpo Muurinen, dipl.ins. Mari Ahonen ja tieins. Mirja Hyvärinta.

Selvitys on laadittu LT-Konsultit Oy:ssä, jossa työstä ovat vastanneet dipl.ins. Timo Kärkinen, dipl.ins. Ville Lehmuskoski ja dipl.ins. Risto Jounila. HUTSIM-kehitystyöstä Teknillisessä korkeakoulussa vastasivat TkL Jarkko Niittymäki ja tekn. yo. Mikko Lehmuskoski.

Helsingissä, toukokuussa 1999

Tielaitos, Uudenmaan tiepiiri

SISÄLTÖ

Sisältö

TIIVISTELMÄ

ESIPUHE

SISÄLTÖ

1 TYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoitteet	9
2 NYKYTILANNE	10
2.1 Tietyömaiden nykyinen suunnittelukäytäntö	10
2.2 Liikennevirta tietyömaalla	11
2.3 Tietyömaiden liikenteen mallintaminen	14
2.4 Merkittävät viimeaikaiset ja lähitulevaisuuden työmaat	18
3 ULKOMAISIA SUUNNITTELUOHJEITA	19
3.1 Yleistä	19
3.2 Ruotsalaisia tietyömaiden suunnitteluohjeita	19
3.3 Saksalaisia tietyömaiden suunnitteluohjeita	21
3.4 Iso-Britannialaisia tietyömaiden suunnitteluohjeita	24
4 TAPAUSKOHTAISIA TARKASTELUJA	25
4.1 Tarkastelumenetelmä	25
4.2 Pakinkylän eritasoliittymätyömaa	26
4.3 Länsiväylän meluestetyömaa	30
4.4 Hämeenlinnanväylän päällystystyömaa	32
4.5 Esimerkki toistuvista siltojen liikuntasauojen korjaamisesta	34
5. JOHTOPÄÄTÖKSET	35
6 TOIMINTAOHJEET	37
7 LÄHDELUETTELO	38
8 LIITTEET	39
1 Pakinkylän eritasoliittymätyömaan HUTSIM-mallin perusteella lasketut viivytykset	40
2 Länsiväylän meluestetyömaan HUTSIM-mallin perusteella lasketut viivytykset	44
3 Laskelma Pakinkylän eritasoliittymätyömaan viivytyksistä ja kustannuksista (karkea taso)	47
4 Laskelma Länsiväylän meluestetyömaan viivytyksistä ja kustannuksista (karkea taso)	48
5 Laskelma Hämeenlinnanväylän päällystystyömaan viivytyksistä ja kustannuksista (karkea taso)	49

1 TYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET

1.1 Työn tausta

Tietyömaiden rakennusaikaisten liikennejärjestelyjen suunnittelun keskeisinä tavoitteina on ollut luoda turvalliset olosuhteet työmaalla työskenteleville ja ohjata liikenne turvallisesti työmaa-alueen läpi aiheuttamatta liikenteelle tarpeetonta haittaa. Vähäliikenteisillä teillä ja lyhytaikaisilla työmailla, kuten päällysteen uusiminen, kaikki tavoitteet voivat toteutua yhtäaikaan. Tavoitteiden toteutuminen vaikeutuu mitä vilkasliikenteisemmällä tiellä ollaan. Liikenteen sujuvuuden kohdalla tavoitteista yleensä jäädään ensimmäiseksi jälkeen.

Liikenteelle aiheutuvien viivytysten kustannuksia tai niiden vähentämistä tietyömaan sujuvuutta parantamalla on tutkittu varsin vähän. Muutamissa viimeaikaisissa suurissa työkohteissa on ollut helppo havaita liikenteelle syntyvän merkittäviä viivytyksiä. Liikenteelle aiheutuvan haitan laskennallista arvoa ei yleensä ole määritetty.

Liikenteen mikrosimulointi on voimakkaasti nousemassa esiin yksityiskohtaisena liikenteen mallinnusmenetelmänä. Tielaitos on (Lehmuskoski 1998) tutkinut suomalaisen HUTSIM-ohjelman soveltuvuutta korkealuokkaisille väylille ja identifioinut ohjelman kehitystarpeita. Mikrosimuloinnin on todettu tarjoavan uusia mahdollisuuksia monimutkaisten liikenteellisten ilmiöiden tarkasteluihin.

Vuonna 1998 pääkaupunkiseudulla oli meneillään kaksi liikenteen sujuvuutta merkittävästi häirinyttä työmaata: Pakinkylän eritasoliittymän rakentaminen Tuusulanväylän ja Kehä I:n liittymässä sekä Länsiväylän melusteiden rakentaminen Lauttasaareissa. Edellinen valmistui lokakuussa ja jälkimmäinen marraskuussa 1998.

1.2 Työn tavoitteet

Tällä työllä oli seuraavat tavoitteet:

- käydä läpi niin koti- kuin ulkomaisetkin vilkasliikenteisten väylien työmaiden suunnitteluohjeet ja -käytännöt liikenteen sujuvuuden kannalta
- laatia kirjallisuustutkimus tietyömaiden liikenteen sujuvuudesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä
- testata HUTSIM-mikrosimulointimallin käytettävyyttä erilaisten työmaiden mallintamiseen sekä arvioida sillä saatavia tuloksia mm. liikenteelle aiheutuvista viivytyksistä
- kustannusten suuruusluokan selvittämiseksi laskea viivytyksistä liikenteelle aiheutuvat kustannukset myös karkeasti ("taskulaskimella").

Työn alussa määriteltiin ne Uudenmaan tiepiirin alueella olevat työmaat, jotka soveltuvat tarkasteltaviksi. Koska mitään tietyömaiden luokituksia ei ole, jouduttiin määrittelemään rajat liikenteen sujuvuuden kannalta ongelmallisille työmailla. Liikenteen sujuvuuden kannalta kriittisiksi katsottiin sellaiset työmaat, joiden kesto on vähintään kuusi kuukautta ja liikennettä työn alaisella tiellä niin paljon, että työmaan aiheuttama häiriö johtaa liikenteen päivittäiseen ruuhkautumiseen.

HUTSIM-mallin soveltuvuuden testaamisen lisäksi alustavien tulosten perusteella mallia kehitettiin paremmin työmaaolojen liikenteen simulointiin soveltuvaksi. Työstä vastasi Teknillisen korkeakoulun Liikennelaboratorio.

2 NYKYTILANNE

2.1 Tietyömaiden nykyinen suunnittelukäytäntö

Rakennustöiden aikaiset liikennejärjestelyt suunnitellaan usein osittain tie- ja rakennussuunnitelmien laadinnan yhteydessä. Lopullisen muotonsa järjestelyt saavat, kun rakentamisesta vastaava urakoitsija toteuttaa ne. Suunnittelu- ja toteutusvaiheen välisen yhteyden puuttuminen haittaa vuoropuhelua suunnittelijoiden ja toteuttajien kesken ja estää tiedonkulun hyviksi koetuista käytännöistä molempiin suuntiin. Toteuttajataholta saattaa myös puuttua liikenteen sujuvuutta ymmärtävä näkemys.

Suurissa tiehankkeissa käytössä on ns. projektimenettely, jossa yksi organisaatio hoitaa koko prosessin rakennussuunnitelman laatimisesta aina toteuttamiseen asti. Tällöin projektin eri osapuolien välisen vuorovaikutusmahdollisuuden vuoksi edellytykset liikenteen sujuvalle hoidolle ovat merkittävästi aikaisempaa paremmat.

Tielaitos on vuonna 1991 julkaissut ohjeen Liikenne tietyömaalla. Ohjeessa kuvataan hyvin tarkasti tietyömaiden liikenteen ohjausta, mutta liikennejärjestelyjen yksityiskohtaisesta suunnittelusta ei anneta ohjeita.

Tässä työssä haastateltiin sekä Pakinkylän eritasoliittymän että Länsiväylän meluestetyömaan suunnittelijoita. Pääasiallinen tavoite oli selvittää lähtötietoja simulointimallin rakentamiseen, mutta samassa yhteydessä kysyttiin myös liikennejärjestelyjen suunnittelusta.

Yksityiskohtaiset liikennejärjestelyt suunnitellaan yleensä toteuttamisen yhteydessä. Suunnittelussa tarkistetaan yleensä vain auki pysyvien kaistojen määrä, mutta ei niiden geometriaa tai muita liikenteen välityskykyyn liittyviä seikkoja. Järjestelyjen käytännön toteutuksissa korostuu liikenteen ja työmaan turvallisuus, jotka on jo aikaisemmin mielletty tärkeiksi.

Työmaan käyttöön myönnetään tie- ja rakennussuunnitelmien kustannusarvioiden perusteella määritelty budjetti. Kulujen minimoinnin vuoksi liikennejärjestelyt työmaalla pyritään usein toteuttamaan mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Liikennejärjestelyissä säästäminen voi helposti johtaa suuriin liikenteelle aiheutuviin viivytyksiin ja sen kautta huomattaviin yhteiskunnallisiin kustannuksiin.

2.2 Liikennevirta tietyömaalla

Liikenteen käyttäytyminen työmaalle tyypillisissä oloissa on tunnettava hyvin, jotta voidaan suunnitella liikennejärjestelyjä ja arvioida erilaisten yksityiskohtaisten ratkaisujen liikenteellisiä vaikutuksia. Liikennevirta tietyömailla on ruuhka-aikoina erittäin herkästi häiriintyvää.

Kuljettajien käyttäytymisestä tietyömaa-alueella on laadittu kirjallisuusselvitys (VTI 1998). Keskeisin tulos on, että tietyömaalla käyttäytymisestä ja eri tekijöiden vaikutuksista liikennevirtaan ja työmaa-alueen liikenteelliseen kapasiteettiin tiedetään varsin vähän. Työssä mm. esitetään tuloksia tutkimuksesta, jossa selvitettiin kuljettajien käyttäytymistä työmaa-alueella sekä mittaamalla että haastattelemalla kuljettajia. Tutkimuksen keskeisin tulos oli, että kuljettajat ajavat työmaalla toisin kuin haastattelussa ilmoittavat.

Häiriintynyttä liikennevirtaa on tutkittu varsin vähän. Suomessa ainoat selvitykset ovat valtatieltä 4 (Reittiohjaus Lahdentiellä, Tielaitoksen selvityksiä 43/1992) sekä mittaukset Länsiväylän työmaalta (Enberg, Mannan, 1998). Edellisessä liikenteen ruuhkautuminen oli pääkaupunkiseudun mittapuun mukaan hyvin lievää.

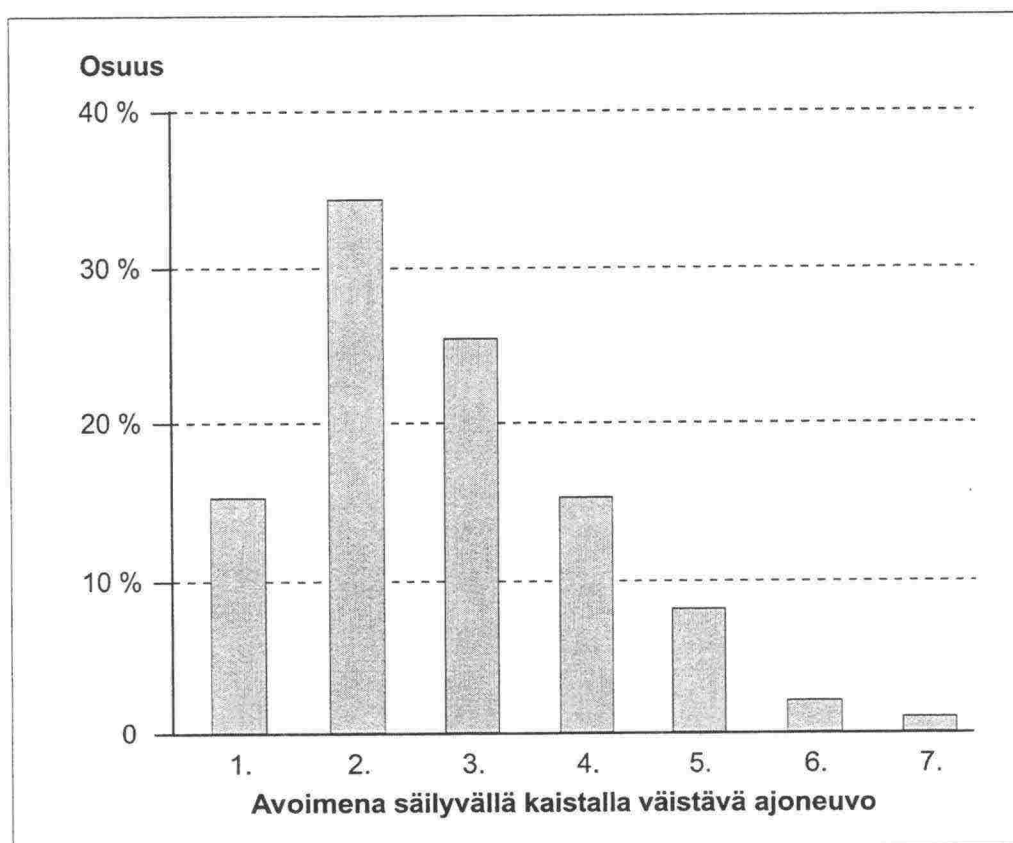
Ulkomaisissa tutkimuksissa on usein kyse tilanteista, joiden kaltaisia ei Suomessa ole, kuten 8- tai useampikaistaisten moottoriteiden kaistojen sulkeminen. Tutkimuksissa kaistojen geometria säilyy ennallaan. Tutkimustietoa tiegeometriaan tehtyjen muutosten vaikutuksista ei ole.

Kaksikaistaisella ajoradalla toisen kaistan sulkevan työmaa-alueen toimivuutta on USA:ssa yritetty parantaa ns. Late merge -menettelyllä (Pesti, Jessen, Byrd, McCoy 1999), jossa liikennettä ohjataan käyttämään molempia kaistoja mahdollisimman pitkään. Tavoitteena on saada jononpituudet pienemmiksi ja kahden kaistan liikenteen yhdistämisestä aiheutuva sekoittuminen tapahtumaan lyhyemmällä matkalla. Käytännön tulokset eivät toisistaan ole olleet aivan niin hyviä kuin kokeiluissa on oletettu.

Toisaalta edellisessä selvityksessä todettiin kuljettajien kokevan ongelmaksi sen, ettei työmaa-alueelle saavuttaessa tiedä kumpi kaista suljetaan ja kumpi jatkuu. Suomessa tilanne on huomattavasti selkeämpi, sillä kaksiajorataisilla väylillä aina suljetaan ensin vasen kaista ja ohjataan liikennevirta työmaan läpi.

Myöhäinen kaistanvaihto on toisaalta koettu myös häiriötekijäksi. Iso-Britannialaisessa moottoriteiden tietyömaiden kapasiteettia käsitelleessä selvityksessä (Hunt, Yousif 1994) myöhäisen kaistanvaihdon todettiin aiheuttavan häiriöitä erityisesti silloin, kun hidas ja tiivis liikennevirta lähestyy ajoradan kavennuskohtaa. Häiriö perustuu siihen, että kaistanvaihtajia väistävät ajajat pyrkivät palauttamaan etäisyyden edelläajavaan turvalliseksi kokemakseen, mikä helposti johtaa nopeuden alenemiseen tai jopa jonon pysähtymiseen.

Edellisessä tutkimuksessa selvitettiin myös kuinka myöhäiset kaistavaihtajat pääsevät mukaan avoimena säilyvän kaistan liikennevirtaan. Kuvassa 1 on esitetty tutkimuksen tulos, jonka mukaan ruuhkautuneilla brittimoottoriteilläkin noin puolessa tapauksista joko ensimmäinen tai toinen ajoneuvo antaa tilaa kavennuskohtaan asti ajaneelle ajoneuvolle.



Kuva 1

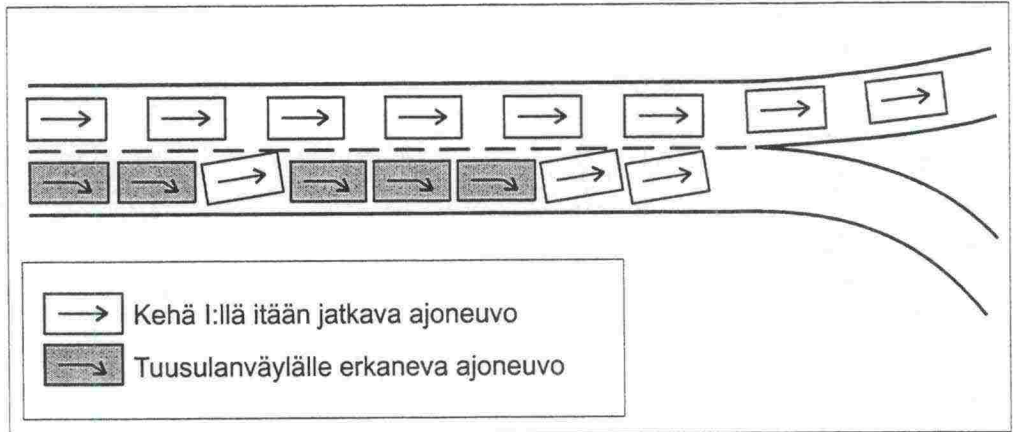
Suljettavalta kaistalta myöhäistä kaistanvaihtajaa väistävän ajoneuvon järjestysnumero avoimena säilyvällä kaistalla

Häiriintyneen liikennevirran mallintamiseksi sekä mahdollisimman vähän haittaa aiheuttavien järjestelyjen suunnittelemiseksi on tunnettava ja analysoitava tarkasti ruuhkautumiseen johtavat syyt ja ruuhkan kehittyminen. Seuraavassa on käsitelty lyhyesti liikenteen ruuhkautumista kahdessa esimerkkikohteessa, joissa tilanteen ennustaminen pelkkien tie- ja liikennelähtökohtien perusteella ei välttämättä onnistu.

Pakinkylän liittymätyömaalla Kehä I muutettiin Tuusulanväylän ylityksen kohdalla noin vuoden ajaksi 1+1-kaistaiseksi. Työmaan itäpuolella tilanne oli selkeä: kaksi kaistaa kavennettiin yhdeksi. Syntyneellä jonolla ei ollut huomattavaa vaikutusta muihin kuin Kehää pitkin kulkeviin liikennevirtoihin.

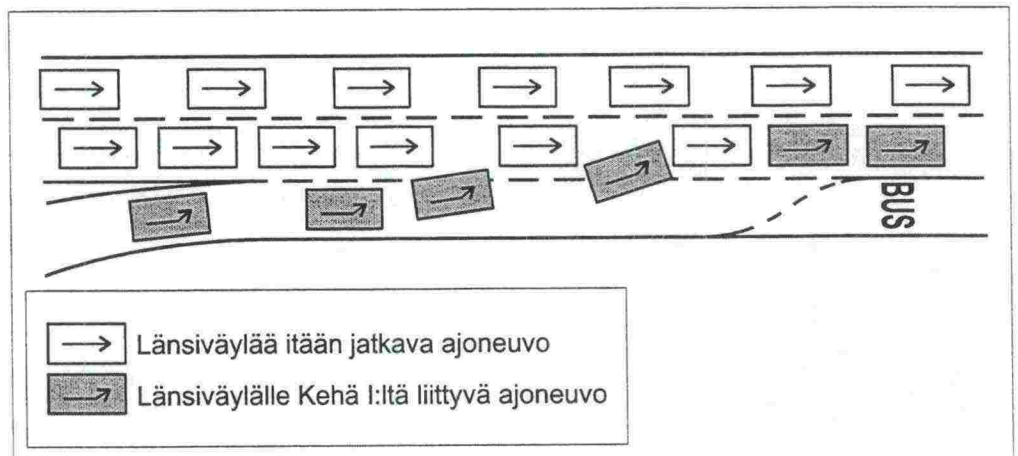
Liittymän länsipuolella tilanne oli monimutkaisempi. Lännestä liittymään tulee kaksi kaistaa, joista vain keskimäinen jatkui työmaan aikana Tuusulanväylän yli itään toisen kaistan johtaessa Tuusulanväylälle pohjoiseen ja etelään. Ruuhka-aikoina molemmilla kaistoilla oli pitkät jonot, vaikka Tuusulanväylä pystyi ruuhkautumatta ottamaan vastaan kaiken Kehä I:ltä saapuvan liikenteen. Liittymän työnaikaisista järjestelyistä laaditussa arviossa oli Tuusulantielle menevän liikenteen oletettu sujuvan normaalisti.

Ongelma aiheutui osittain myöhäisistä kaistanvaihtajista, jotka odottaessaan liittymismahdollisuutta keskikaistalle itään kulkevaan virtaan pysäyttivät myös reunakaistalla suoraan menevän liikenteen. Osa myöhäisistä kaistanvaihtajista oli varmaankin aluetta tuntemattomia kuljettajia, jotka eivät opasteista huolimatta ole ajoissa vaihtaneet kaistaa, osa taas Pakilantien liittymästä saapuneita. Kuva 2 esittää kaaviomaisesti tilanteen.



Kuva 2 Liikenteen ruuhkautuminen Kehä I:n työmaalla

Länsiväylällä esiintyvät ongelmat aiheutuivat eri syystä, mutta lopputuloksena on sielläkin pitkät jonot suunnalla, jolla ei pitäisi olla ongelmia. Normaalitilanteessa Kehä I:ltä Länsiväylälle liittyvä liikenne väistää liittyessään moottoritien liikennettä. Kun liikenteen nopeus Länsiväylällä laskee riittävän alas ja vastaavasti liikennetiheys kasvaa, muuttuu Kehä I:ltä Länsiväylälle liittyminen helpommaksi. Liittyvä liikennevirta käyttää lähes kaiken reuna-kaistan vapaan tilan, ja liikennevirran nopeus laskee edelleen. Tuloksena on tilanne, jossa Kehä I:ltä saapuva liikenne sujuu paremmin kuin Länsiväylää pitkin lännestä saapuva liikenne, joka ruuhkautuu. Etuajo-oikeus muuttuu tavallaan siis normaalitilanteeseen nähden päinvastaiseksi. Kuvassa 3 on esitetty tilanteen synty kaaviomaisesti.



Kuva 3 Liikenteen ruuhkautuminen Länsiväylällä

2.3 Tietyömaiden liikenteen mallintaminen

Työmaan liikenteen luotettava mallintaminen edellyttää, että käytettävällä mallilla pystytään kuvaamaan edellä esitetyn kaltaiset liikenneolosuhteet. Ilman kaistanvaihtoproblematiikan mallintamista ei liikenne tarkastelussa jounoudu eivätkä mallin antamat viivytykset vastaa todellisuutta.

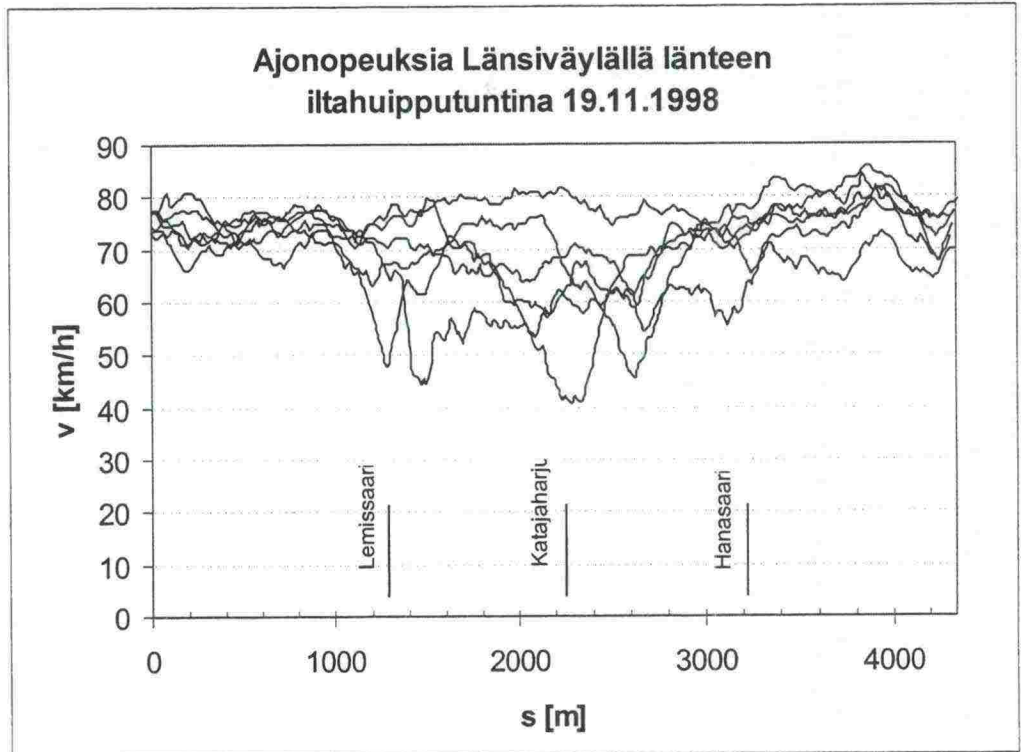
Nykyisin laajassa käytössä olevat verkollisten tarkastelujen tekemiseen käytetyt liikennemallit ovat EMME/2 ja SATURN. Niistä kumpikaan ei mallinna liikennevirtaa ajoneuvoittain vaan ainoastaan virtana linkin läpi. SATURN mahdollistaa myös liittymien simuloinnin, mutta ei silloinkaan ajoneuvoittain.

HUTSIM on Teknillisessä korkeakoulussa kehitetty liikenteen mikrosimulointiohjelma. Simulointimalli koostuu useista erityyppisistä olioista, joita yhdistelemällä ja joiden välisin riippuvuuksin muodostetaan kuva liikenneympäristöstä. Oliomallissa kuvataan liikenneympäristön rakenne, liikenteen koostumus ja ominaisuudet sekä liikenteen ohjaustoiminnot.

Simuloinnin aikana kukin ajoneuvo toimii itsenäisesti. Ajoneuvo tekee päätöksiä ottaen huomioon omat tavoitteensa (tavoitenopeus, määräpaikka) ja ominaisuutensa (kiihtyvyys, hidastuvuus, nopeus, pituus) sekä liikenneympäristön tilan (muun liikenteen nopeus, aikavälit). Ajoneuvon tekemä päätös voi koskea muun muassa kiihdyttämistä, hidastamista tai pyrkimystä vaihtaa kaistaa. Ajoneuvojen tavoitteet ja ominaisuudet kuvataan käyttäen erilaisia jakaumia, jolloin liikennevirran heterogeenisuus tulee totuudenmukaisemmin kuvattua.

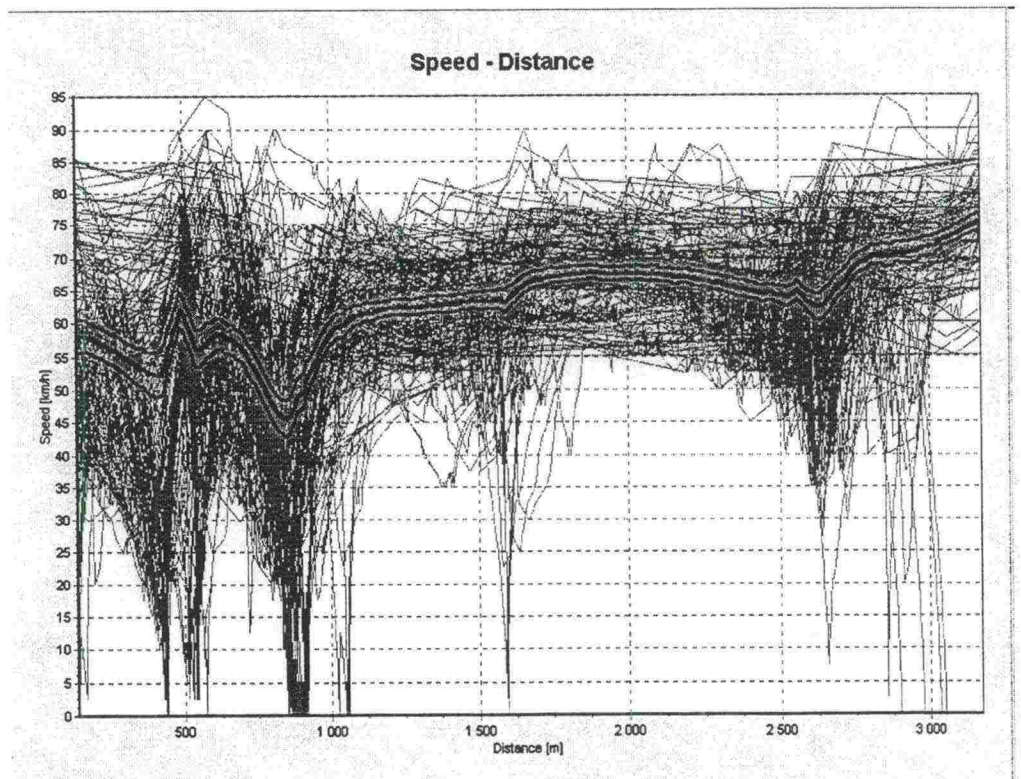
Ajoneuvojen toiminnot mallinnetaan HUTSIMissa eri osamalleja käyttäen. Esimerkiksi vapaan ajoneuvon kiihdytysmallissa otetaan huomioon ajoneuvon kiihtyvyyden riippuvuus ajoneuvon tavoitenopeudesta ja hetkellisestä ajonopeudesta. Kaistanvaihtomallissa kaistanvalintaan vaikuttaa ajoneuvon määränpään lisäksi mahdollisuus päästä lähemmäs tavoitenopeuttaan eri kaistoilla. Päätettyään vaihtaa kaistaa ajoneuvo etsii viereiseltä kaistalta sopivaa aikaväliä, johon kaistanvaihto on mahdollinen.

Perinteisiin linkkitason tietoon perustuviin makromalleihin verrattuna voidaan mikrosimuloimalla arvioida erilaisten yksityiskohtaisten toimenpiteiden vaikutuksia luotettavammin. Tietyömailla toimenpiteiden vaikutukset liikennevirran ominaisuuksiin ovat usein hyvin vaihtelevia, kuva 4. Mikrosimulointi tarjoaakin hienopiirteisen mahdollisuuden mitä moninaisimpien työaikaisten liikennejärjestelyjen tarkasteluihin, kuva 5.



Kuva 4

Instrumentoidulla ajoneuvolla Länsiväylällä meluestetyömaan aikana tehtyjen matkanopeusmittausten perusteella voidaan havaita ajoneuvojen nopeuksien vaihtelevan lyhyenä ajanjaksonakin voimakkaasti.



Kuva 5

HUTSIMilla simuloidun liikenteen tilastollisessa tarkastelussa voidaan tarkastella esimerkiksi ajoneuvojen nopeuksien hajontaa matkan funktiona. Kuvassa ajonopeudet aamuhuipputuntina Länsiväylällä itään.

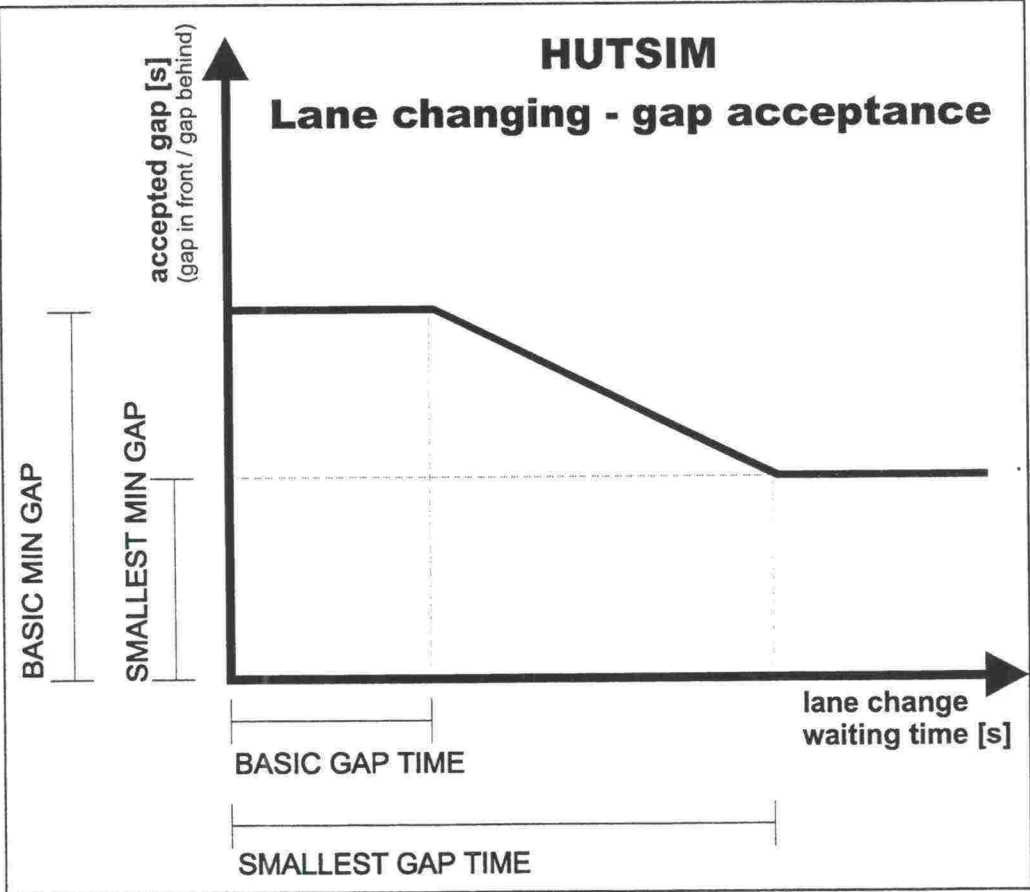
Tämän työn yhteydessä HUTSIM-ohjelmaa kehitettiin paremmin soveltu-
maan työmaaolosuhteissa ruuhkautuvien pääväylien simulointiin. Ohjelman
kehittäminen tehtiin yhteistyössä Teknillisen korkeakoulun (TKK) Liikennela-
boratorion kanssa. Ohjelmaa kehitettiin seuraavilla kolmella osa-alueella.

1. Kaistanvaihtoaikavälin muuttuminen odotusajan funktiona

Kaistanvaihtoaikavälillä tarkoitetaan sitä kahden ajoneuvon välistä tilaa
(nettoaikaväli), jonka viereisellä kaistalla ajava ajoneuvo kokee riittävän suu-
reksi voidakseen vaihtaa kaistaa. Mikäli kahden ajoneuvon välinen etäisyys
on vähintään kaistanvaihtoaikavälin mittainen, voidaan kaistanvaihto toteut-
taa.

HUTSIMin versiossa 4.21 kaistanvaihtoaikavälin arvo on vakio. Todellisuus-
dessa kuljettajien kaistanvaihtoon hyväksymä aikaväli kuitenkin muuttuu
muun muassa liikennetiheyden ja kaistanvaihdon välttämättömyyden mu-
kaan. Mitä pitempään ajoneuvo on onnistumatta pyrkinyt vaihtamaan kais-
taa, sitä pienemmän aikavälin se kaistan vaihtamiseksi hyväksyy.

Tähän työhön liittyen HUTSIMin kaistanvaihtomallia kehitettiin siten, että
kaistanvaihtoon hyväksyttävä aikaväli pienenee sitä enemmän mitä pitem-
pään ajoneuvo on onnistumatta pyrkinyt vaihtamaan kaistaa, kuva 6.



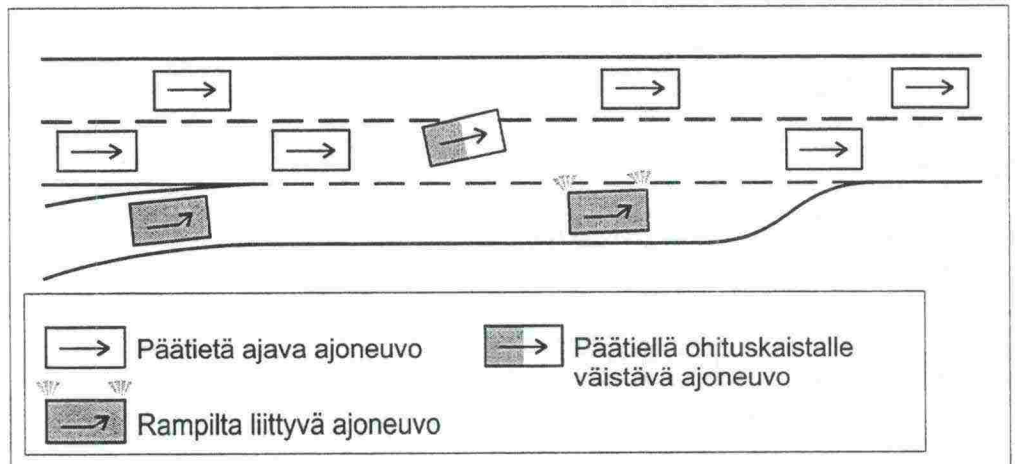
Kuva 6

HUTSIMin kaistanvaihtotoimintoa kehitettiin tämän työn
yhteydessä. Kaistanvaihtoaikavälin alku- ja loppuarvo sekä
niiden välisen suoran kulmakerroin ovat käyttäjän määri-
teltävissä.

Työmaiden toiminnallisia tarkasteluja varten toteutetuissa simuloinneissa katsottiin muuttuvalla kaistanvaihtoaikavälillä olevan erityisen suuri merkitys Länsiväylän ja Kehä I:n sekoittumisalueella sekä Kehä I:n ja Tuusulanväylän (Pakinkylä) liittymän alueella.

2. Kuljettajien huomaavaisuus kaistanvaihhdossa

HUTSIMin kaistanvaihtomallia kehitettiin edelleen siten, että monikaistaisella pääväylällä ajava ajoneuvo voi ottaa huomioon pääväylän liikennevirtaan liittymään pyrkivät ajoneuvot. Liikenteessä kuljettajat tarkkailevat viereisten kaistojen ajoneuvoja ja mikäli viereiset ajoneuvot haluavat vaihtaa kaistaa, voi kuljettaja mahdollisesti antaa tietä kaistanvaihtoa yrittävälle ajoneuvolle. Erityisen merkittävä ilmiö on korkealuokkaisten väylien eritasoliittymissä. Peruskaistalla moottoritietä ajava ajoneuvo vaihtaa usein ohituskaistalle, jos liittyvällä kaistalla on tulossa pääväylälle liittymään pyrkivä ajoneuvo, kuva 7.



Kuva 7

HUTSIMin kaistanvaihtotoimintoa kehitettiin siten, että ajoneuvo voi vaihtaa kaistaa antaakseen tietä, mikäli viereisellä kaistalla oleva ajoneuvo haluaa vaihtaa kaistaa.

Huomaavaisten kuljettajien osuus on hankekohtaisesti määriteltävissä. Kuljettajien huomaavaisuuden kaistanvaihdossa katsottiin tukevan vahvasti HUTSIMin moottoriväyläsovelluksia ja tässä työssä erityisesti Länsiväylän ja Kehä I:n eritasoliittymien liityntäalueita.

3. Ajoneuvotyyppikohtainen nopeusrajoitus

HUTSIM-malleissa tiet muodostuvat "putkista", joita liitetään yhteen. Putkiin voidaan asettaa nopeusrajoitus, jolla kuvataan esimerkiksi tien vaaka- tai pystygeometrian vaikutusta ajoneuvojen paikallisiin tavoitenopeuksiin. Esimerkiksi jyrkässä kaarteessa, kuten rampilla ei voida ajaa vallitsevan yleisnopeusrajoituksen mukaista nopeutta vaan kaarre asettaa nopeudelle tiukemmat rajat. Todellisuudessa ilmiö ei kuitenkaan ole näin yksinkertainen, sillä tiegeometrian vaikutus eri ajoneuvotyyppien nopeuksiin vaihtelee merkittävästi (Lehmuskoski 1998).

Työhön liittyen HUTSIMin putkikohtainen nopeusrajoitus täydennettiin ajoneuvotyyppikohtaiseksi putkikohtaiseksi nopeusrajoitukseksi. Putkeen lisättiin valikko, jolla voidaan säätää eri ajoneuvotyypeille eri nopeusrajoitukset

samaan putkeen. Näin voitiin ottaa huomioon esimerkiksi se, että huono tiegeometria, esimerkiksi jyrkkä kaarre tai mäki työmaalla, vaikuttaa eri tavalla henkilöautoihin ja raskaisiin ajoneuvoihin.

Ajoneuvotyyppikohtaisen nopeusrajoituksen katsottiin olevan erityisen merkityksellinen Kehä I:n ja Tuusulanväylän (Pakinkylä) liittymän toteutetun työmaajärjestelyn mallinnuksessa, sillä Tuusulanväylän länsipuolella Kehä I:tä suoraan ajavan liikenteen kaistalla oli työmaan aikana sekä vaaka- että pystygeometrialtaan tavanomaisista olosuhteista selvästi poikkeava osuus.

2.4 Merkittävät viimeaikaiset ja lähitulevaisuuden työmaat

Vuonna 1998 merkittävimmät Uudenmaan tiepiirin alueella käynnissä olleet tietyömaat olivat:

- Pakinkylän eritasoliittymä (kt 45 ja mt 101)
- Länsiväylän (kt 51) meluesteet Helsingissä.
- Kehä II (vt 1 ja kt 51)
- vt 4 Järvenpää - piirin raja

Näistä liikenne ruuhkautui päivittäin vain kahdessa ensiksi mainitussa. Kehä II on uusi väylä, jonka rakentaminen häiritsee liikennettä vain kohdissa, joissa se risteää muiden väylien kanssa. Valtatiellä 4 liikennettä pysäytettiin toistuvasti, mutta viivytykset jäivät yleensä melko lyhyiksi. Nopeusrajoitus tietyömaalla oli normaalitilannetta alempi, mutta liikenne ei ruuhkautunut.

Toteutukseen lähivuosina tulevia hankkeita, joilla voivat aiheuttaa merkittävästi liikenteen ruuhkautumista ovat mm. Kehä I:n parantaminen Espoon alueella sekä Hakamäentien parantaminen/Pasilanväylän toteuttaminen. Molemmissa kohteissa työt joudutaan toteuttamaan erittäin vilkkaan liikenteen keskellä.

3 ULKOMAISIA SUUNNITTELUOHJEITA

3.1 Yleistä

Työn yhteydessä selvitettiin myös millaisia vilkasliikenteisten (kaksiajorataisten) väylien tietyömaiden liikennejärjestelyjen suunnittelutapoja ja sujuvuuden arviointimenetelmiä on käytössä muissa maissa. Selvityksen kohdemaiksi valittiin Ruotsi, Saksa ja Englanti. Seuraavassa on esitetty tiivistysti selvityksen keskeisimmät tulokset.

3.2 Ruotsalaisia tietyömaiden suunnitteluohjeita

Lähteet: Arbete på väg, Handbok , Vägverket 1995

Arbete på väg, Allmänna bestämmelser, Vägverket 1995

Ruotsissa on olemassa yleisohje työnaikaisten liikennejärjestelyjen toteuttamiseksi. Tämän lisäksi on olemassa kirja, jossa esitetään esimerkkitapauksia erilaisten työtilanteiden liikennejärjestelyiksi.

- Tielaitos valvoo ja on vastuussa työnaikaisten liikennejärjestelyjen toimivuudesta ja turvallisuudesta.
- Turvallisuus ja hyvä liikenteen sujuvuus turvataan huolellisella työnaikaisten liikennejärjestelyjen suunnittelulla, mistä laadittu suunnitelma on tehtävä ja hyväksyttävä tienpitäjällä ennen työn alkua.
- Työmaasta vastuussa oleva työnjohtaja on velvollinen noudattamaan tehtyä liikenteenohjaussuunnitelmaa.
- Jokaisella työmaalla on oltava yksi tiemerkintöjen vastuuhenkilö, joka on suorittanut tielaitoksella koulutuksen ko. tehtävään.
- Tukholman tiepiirin tietyillä teillä ei ole sallittua tehdä töitä tiettyinä ajankohtina, jotka käy ilmi tätä tarkoitusta varten laaditussa luettelossa (päivittäisiä aikarajoituksia).
- Tiet on jaettu kahteen luokkaan; A ja B:
 - luokka A = vilkkaasti liikennöidyt tiet
 - luokka B = muut tiet
- Luokka A vaatii selvemmat tiemerkinnät, ohjauksen jne., luokassa B riittävät normaalit vakiomerkinnät.
- Työmaat on jaoteltu myös käytettävän työajan suhteen kolmeen luokkaan: kiinteä työ, ajoittainen työ, liikkuva työ.
- Työmaitten suunnittelu riippuu työn tyypistä ja liikennekuormituksesta.
- Ensisijainen päämäärä on tehdä työ tiellä tai tieosalla, jossa ei ole liikennettä.
- Sovellettavat liikennejärjestelyt työmaitten kohdalla: moottoriteillä liikenteen siirto vierekkäiselle ajoradalle, muilla teillä kiertotie.

- Häiriöiden aiheuttaminen liikenteelle sekä yhteiskunnan eri toiminnoille tulee minimoida.

Työt moottoriteillä ja moottoriliikenneteillä

- Työmaiden kohdalla on aina harkittava vaihtoehtoisia kierto- tai ohitus-tietä.
- Moottoritietyömailla on mahdollista käyttää työmailla myös kolmea kaistaa, joista yhden kaistan suunta muuttuu ruuhkasuunnan mukaisesti.

Liikenteen ohjaus

- jos työmaa-alueella ohittavalle liikenteellä jää poikkileikkaukseltaan alle 6.0 metrin alue, täytyy liikennettä säädellä jollain seuraavalla tavalla
 - tiemerkinnot
 - liikennevalot
 - liikenteen ohjaaja
 - liikenteen ohjaaja ja liikenneluotsi

Tielaitoksen kommentteja:

- Vilkkaasti liikennöityjä teitä on vaikeaa määritellä yleisesti. Aihepiiriin liittyvä alueellinen tieverkon luokittelu tulee tehdä.

3.3 Saksalaisia tietyömaiden suunnitteluohjeita

Lähde: Arbeitsstellen an Strassen Richtlinien – RSA 95, BMV 1995

Empfehlungen zur Minderung von Stau- und Unfallrisiko bei einstreifigen Verkehrsführungen in Autobahnbaustellen der neuen Bundesländer, BMV 1995

Saksalaisten käytäntö tulee esille työmaiden suunnitteluohjeesta, joka on tehty vuonna 1995. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty ohjeissa olevia tietyömaiden keskeisiä kapasiteettiarvoja. Tämän lisäksi on entisen Itä-Saksan moottoritietöymäille esitetty suosituksia ruuhka- ja onnettomuusriskin pienentämiseksi vuonna 1995 tehdyn tutkimuksen pohjalta.

Yleisiä ohjeita:

- Työmaanaikaisten liikennejärjestelyjen suunnittelussa on oltava mukana tieviranomaiset, poliisi ja kaupungin edustajat.
- Tieviranomainen hyväksyy rakentajan tekemät työmaan aikaiset liikennejärjestelyt (myös liikennevalojärjestelyt), järjestelymallit annettu ohjeessa.
- Erityisesti suuremmilla työmailla viranomainen tekee useimmiten itse ko. liikennejärjestelysuunnitelmat.
- Viranomaiset valvovat työmaan järjestelyjen toimivuutta ja tarkoituksenmukaisuutta. Tarvittaessa järjestelyjä muutetaan.
- Vilkkaasti liikennöidyillä teillä tulee työt tehdä mahdollisuuksien mukaan vähäliikenteisinä aikoina.
- Työmaan pituus ja leveys on pidettävä mahdollisimman pienenä.
- Moottoritietöymäillä kaistalukumäärä työmaan kohdalla säilytetään pääsääntöisesti ennallaan.
- Kaistojen määrää voidaan poikkeuksellisesti vähentää, jos maksimituntien liikennemäärät ovat alle 1500 ajon/h/kaista (kaksikaistainen ajorata) tai alle 3000 ajon/h/suunta (kolmikaistainen ajorata). Tämä edellyttää keskimääräistä raskaiden ajoneuvojen osuutta sekä pientä pituuskaltevuutta.
- Jos kaistamäärää on vähennettävä, tulee valmistautua ruuhkiin. Tätä ongelmaa voidaan pienentää esimerkiksi seuraavilla toimenpiteillä:
 - työskennellään vähäliikenteisinä aikoina
 - käytetään kaikki mahdollisuudet työn keston lyhentämiseksi
 - liikenne radion välityksellä ilmoitetaan kiertotiemahdollisuudet

Taulukko 1 Työmaan kohdalla olevien liikenteellisten kapasiteettien raja-arvoja suunnittain kaistoja vähennettäessä. Reunaehdot epäsuotuisille ja suotuisille olosuhteille (v. 1991).

Liikenteen välityskyvyn raja-arvoja eri liikenteen ohjaustavoilla (tai liikennejärjestelyillä)		
2 kaistalta 1 kaistalle	1.100–1.500 ajon. / h / suunta	
3 kaistalta 1 kaistalle	1.100–1.300 ajon. / h / suunta	
3 kaistalta 2 kaistalle	2.400–3.000 ajon. / h / suunta	
Reunaehdot	epäedulliset olosuhteet	edulliset olosuhteet
Raskaiden ajoneuvojen osuus	>20%	<5%
Pituuskaltevuus	>4%	<1%
Linjan maksimipituus suurella pituuskaltevuudella	>700m	<400 m
Liikenteen koostumus	suuri lomaliikenteen osuus	suuri työmatka- ja työliikenteen osuus
Näkemä- ja sääolosuhteet	rajoitetut näkemät, yö	hyvät näkemät, päivä
Ajoradanpinta tai sääolot	märkä, lumi, jää	kuiva
Väli(työn)aikaisen ajokaistan leveys	≤3,0 m	>3,5 m

Taulukko 2 Työmaanaikaisten liikennejärjestelyjen kapasiteetti moottoritietyömailla (arvot eri kirjallisuuslähteistä).

Liikenteen välityskyvyn raja-arvoja yksikaistaisille liikenteen ohjausjärjestelyille.		
Kirjallisuuslähde	Raja-arvo [ajon. / h / suunta]	Huomautukset (2+1 tarkoittaa ajorataa, jolla on kaksi kaistaa ajosuuntaan sekä yksi kaista vastakkaiseen suuntaan)
AJS, RAPP (1988)	1.100	-
OECD (1990)	1.650	2+0-liikennejärjestelylle Iso-Britanniassa, 15% raskaita ajoneuvoja
	1.540	2+1-liikennejärjestelylle Iso-Britanniassa, 15% raskaita ajoneuvoja
	1.340	2+1-liikennejärjestelylle USA:ssa, 15% raskaita ajoneuvoja
	1.100	2+1-liikennejärjestelylle Länsi-Saksassa, ajokaistan leveys <3,50m
AUGUST, BECK (1991)	1.200	suuri läpikulkuliikenteen osuus
	2.000	kaupunkiseuduilla (esim. Ruhrin alue), pieni raskaan liikenteen osuus
KAYSER, HESS (1991)	1.100	suuri raskaan liikenteen osuus, suuri pituuskaltevuus
	1.500	pieni raskaan liikenteen osuus, pieni pituuskaltevuus
PAPENDRECHT, SCHUURMANN (1998)	1.200	Alankomaissa, liikennetiheys <20 ajon./km
SIRCH (1993)	1.500	-
RESSEL (1994)	1.460	0% tavaraliikenteen osuus
	1.320	10% tavaraliikenteen osuus
	1.245	20% tavaraliikenteen osuus
	1.175	30% tavaraliikenteen osuus

Useilla entisen itä-Saksan moottoritietyömailla tehtiin tutkimuksia. Tuloksista käy ilmi, että kapasiteetti vaihtelee 1100–2000 ajon/ kaista/ suunta. Tämä johtuu useasta eri tekijästä, jotka voivat vaihdella työmaakohtaisesti.

Taulukko 3 Tietyömaat, KVL arvo ja raskaan liikenteen osuus

Työmaan numero	Työmaan nimi	Moottoritien tunnus	Liikenteen järjestelytapa	KVL (1993) [ajon./24 h]	Tavara-liikenteen osuus [%]	Raskaan liikenteen osuus [%]
1/2	Prischwitzbrücke	A4	2+0	18.500	16,6	12,8
3/4	Striegisbrücke	A4	2+0	31.745	22,5	16,6
5/6	Finowfurt	A11	2+0	26.922	17,3	12,5
7/8	Phöben	A10	2+0	26.426	25,8	20,6
9	Schwanebeck	A10	2+1	36.806	13,6	10,8
10/11	Potsdam	A10	2+0	27.454	20,4	14,7
12	Falkensee	A10	2+1	24.016	17,1	15,6
13/14	Werbellin	A11	2+0	24.531	17,3	12,5
15/16	Henningsdorf	A111	1+1	28.691	17,5	11,7

Taulukosta huomataan, että keskimääräinen vuorokausiliikenne työmailla vaihtelee 18 500–37 000 ajoneuvoon vuorokaudessa. Tutkimuksen perusteella tehtiin seuraavanlaisia loppupäätelmiä ja suosituksia:

- Jos liikennekuormitus on pienempi kuin 30 000 ajoneuvoa/vrk, niin 1+1-kaistainen työnaikainen liikennejärjestely toimii.
- Ajoradan kapasiteetti on 1300 ajoneuvoa/h/kaista, kun kaistoja vähennetään kahdesta yhteen (raskaita 20–30%).
- Vastakkaissuuntaisten ajokaistojen erottaminen rakenteilla toisistaan on suositeltavaa.
- Nopeusrajoitus normaalitapauksissa on 80 km/h. Jos KVL on suurempi kuin 30 000 ajon/vrk, voidaan nopeusrajoitusta pienentää.
- Nopeusrajoitusta 40–50 km/h käytetään vain erityistapauksissa (esim. kapea silta tai suuret epätasaisuudet ajoradalla).
- Ajoradan kavennuskohtiin kiinnitettävä erityistä huomiota, koska niissä tapahtuu eniten onnettomuuksia (autoilijalle ennakkovaroitus).
- Rakennustyömaan optimaalinen pituus on noin 2 kilometriä, tätä pidemmät työmaat tulisi "pilkkoa".
- Jos eritasoliittymä sijaitsee rakennustyömaan alueella, niin nopeusrajoitukseksi työmaa-alueella pitää asettaa 60 km/h.
- Ruuhka- ja onnettomuusriskin pienentämiseksi tulee tutkia kuinka kaukana kavennuskohdasta kaistanvaihdot tulee tapahtua. Kaistanvaihto voidaan toteuttaa tavallisilla liikennemerkeillä tai liikennevalo-ohjauksella (jos KVL on suurempi kuin 30 000 ajon/vrk).

3.4 Iso-Britannialaisia tietyömaiden suunnitteluohjeita

Lähde: A study of traffic capacity through the various features of motorway roadworks, 1991 TRRL

Britannian tilanne analysoitiin yllämainitun tutkimuksen perusteella.

- Tutkimuksessa todettiin Britannian teiden tilanteesta seuraavaa:

- liikenne kasvanut ennustettua nopeammin ja
- tieverkko alkaa yleisesti olla käyttöikänsä lopussa

Näistä syistä johtuen kunnostus- ja uudelleenrakennustöiden määrä on kasvava.

- Kun olemassa oleville moottoriteille tehdään kunnostus- tai parantamistoimenpiteitä, täytyy usein moottoritiellä kaistojen lukumäärää vähentää. Tämä johtaa liikenteen viivytyksiin työmaitten kohdalla.
- Koska työmaitten kohdilla tulee säilyttää niin paljon kapasiteettia kuin mahdollista, on kehitetty sofistikoituja liikenteen järjestely-layout'teja sekä tehty raskaan liikenteen rajoituksia.
- Vuoteen 1991 mennessä ei ollut käytössä menetelmää, jonka avulla varmistettaisiin maksimaalinen kapasiteetti työmaiden kohdalla.
- Tietyömaitten kohdalla optimoidaan käytettävissä oleva tila työnaikaisten liikennejärjestelyjen vuoksi.
- Häiriötilanteiden todennäköisyys kasvaa, koska liikennekysyntä ja kapasiteetti kohtaavat toisensa työnaikaisten kaistajärjestelyjen (kaistoja vähemmän, tiegeometrian huonontuu) vuoksi.
- TRRL arvioi seuraavasti häiriöiden määrän ja aikakeston:
 - onnettomuuksia: 2–3 kpl/ milj. ajon. km, 30 min häiriö
 - pysähtyminen, konerikko yms: 25 kpl/ milj. ajon. km, 20 min häiriö
- Tehdyn tutkimuksen mukaan työmaitten kohdalla esiintyvät häiriöt ovat pääsyy ruuhkiin.

Suosituksat:

- autoilijoitten opastaminen mahdollisimman aikaisin oikeille kaistoille
- tulisi pyrkiä estämään myöhäiset kaistanvaihdot
- tarkka analyysi käytettävissä olevan tilasta
- raskaiden ajoneuvojen rajoitukset
- häiriötilanteiden syntymisen vähentäminen
- syntyneiden häiriötilanteiden mahdollisimman nopea purkaminen: pitää varmistaa, että on tarpeeksi raivauskalustoa saatavilla sekä raivauskaluston pääsy työmaan jokaiseen paikkaan
- valvontakamerat ja -monitorit vilkasliikenteisille työmaa-alueille.

4 TAPAUSKOHTAISIA TARKASTELUJA

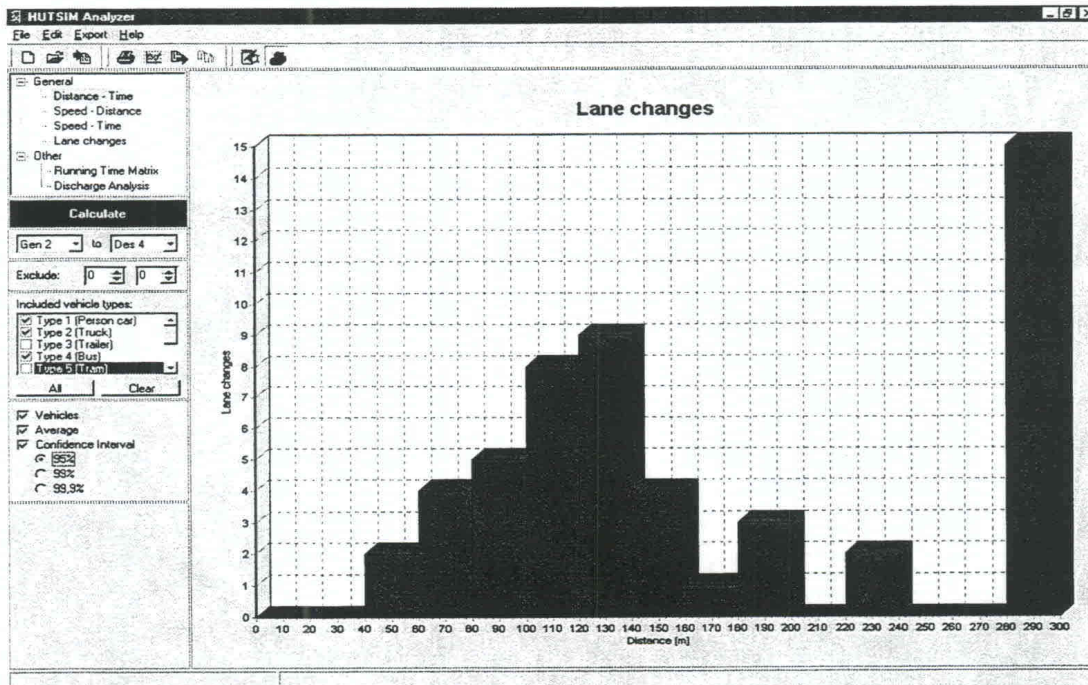
4.1 Tarkastelumenetelmä

Tarkastelut on tehty HUTSIM-mikrosimulointiohjelmalla. Mikrosimulointi perustuu yksittäisten ajoneuvojen dynamiikan, ajoneuvojen välisten vuorovaikutusten ja ajoneuvon ja tieympäristön välisten vuorovaikutusten mallintamiseen. Hyvin yksityiskohtaisena mallinnusmenetelmänä mikrosimulointi soveltuu työnaikaisten järjestelyjen liikenteen analysointiin. Työnaikaisten järjestelyjen johdosta liikenne työmailla on usein tavanomaista häiriöherkempää.

Mallinnus toteutettiin työnaikaisten järjestelyjen osalta mahdollisimman todellista tilannetta vastaavasti. Kaistajärjestelyt (kaistojen määrä, kaistanvaihtokiellot) ja tiegeometrian (mäet, kaarteet) vaikutus otettiin huomioon mahdollisimman kattavasti. Myös huonon tiegeometrian erityisen suuri vaikutus raskaiden ajoneuvojen dynamiikkaan pyrittiin saamaan mukaan tarkasteluun. Lisäksi otettiin huomioon, että kaikki kuljettajat eivät noudata kaistaopastusta.

Työssä tarkasteltiin erilaisten työnaikaisten järjestelyjen vaikutusta liikenteen sujuvuuteen ja liikennetalouteen. Viivytyksiä tarkasteltiin kokonaisuutena sekä liikennevirtakomponentteittain. Työn vaihteisuuden, kaistajärjestelyjen ja tiegeometrian vaikutus mallinnettiin saatavissa olleiden tietojen pohjalta.

Liikennetaloudelliset laskelmat tehtiin HUTSIMin tulostiedostoja käsittelevällä jälkikäsitteilyohjelmalla. Se laskee jokaisen mallinnetun ajoneuvon viivytyksen tallennettujen hetkellisten nopeus- ja kiihtyvyyssarvojen perusteella. Ohjelma analysoi tiedot ajoneuvotyyppi- ja reittikohtaisesti sekä laskee keskiarvon ja keskiarvon halutun luottamusvälin, kuva 8. Ohjelmalla voidaan tutkia myös esimerkiksi kaistanvaihtoja polttoaineenkulutusta ja pakokaasupäästöjä.



Kuva 8 HUTSIM-analysaattorilla voidaan simuloinnin tulostiedostoja tutkia graafisesti ja tilastollisesti.

Merkittävien työmaiden liikennejärjestelyt vaikuttavat liikenteen sijoittumiseen liikenneverkkotasolla. Tässä työssä Pakinkylän liittymätarkastelussa liikenteen sijoittumista arvioitiin mikrosimulointi- (HUTSIM) ja verkkosijoitteluhjelmien (EMME/2) iteratiivisella prosessilla.

Simulointien tuloksena HUTSIM tuottaa ajoneuvojen viivytykset liittymäalueella liikennevirtakohtaisesti. Viivytykset liitetään EMME/2-ohjelmistolla laadittuun pääkaupunkiseudun liikenneverkkoon, jonka avulla voidaan arvioida viivytysten aiheuttamia muutoksia liikenteen sijoittumiseen.

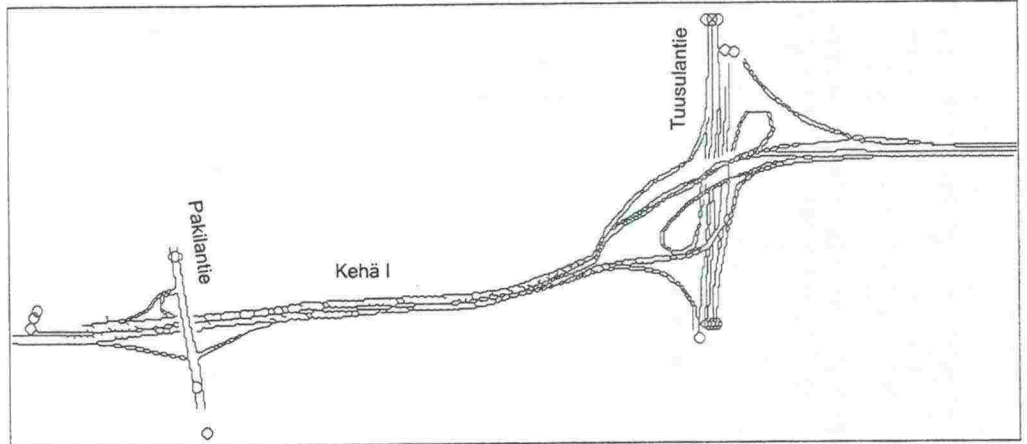
4.2 Pakinkylän eritasoliittymätyömaa

Tuusulanväylän (kt 45) ja Kehä I:n (mt 101) eritasoliittymä on Suomen vilkkaimmin liikennöity liittymä, jonka kautta kulkee arkisin runsaat 100 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Liikennemäärä Kehä I:llä liittymän länsipuolella on runsaat 60 000 ja itäpuolella noin 45 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Kääntyvät liikennevirrat liittymässä ovat myös suuria. Raskaan liikenteen merkitys on suuri, sillä Helsingin Länsisatamasta itään ja pohjoiseen suuntautuva liikenne kulkee Kehä I:llä.

Rakentamisen aikana liikenteen sujuvuutta haittasivat eri työvaiheiden väliaikaiset liikennejärjestelyt. Työn valmistumista saatiin aikaistettua vuodella alunperin suunnitellusta muuttamalla Kehä I noin vuoden ajaksi 1+1-kais- taiseksi. Osan tästä ajasta liikenne kulki sekä pysty- että vaakageometrial- taan hyvin poikkeuksellisissa oloissa, mikä aiheutti liikenteen nopeuden hi- dastumisen sekä koko työmaan liikenteenvälityskyvyn alenemisen.

HUTSIM-tarkastelu

Tarkasteluja varten muodostetut simulointimallit käsittivät Kehä I:n ja Tuusulanväylän sekä Kehä I:n ja Pakilantien eritasoliittymien ympäristöt. Mallinnusalue selviää pääpiirteissään kuvasta 9.



Kuva 9 Pakinkylän liittymätyömaan HUTSIM-malli.

Tarkasteluvaihtoehtoja oli neljä. Valmiin liittymäkokonaisuuden ja toteutetun kaltaisen järjestelyn lisäksi mallinnettiin vaihtoehtoinen työnaikainen tilanne, jolloin Kehä I Tuusulanväylän yli olisi koko työn ajan ollut 2+2-kaistainen, mutta työ olisi kestänyt vuoden pitempään. Lisäksi mallinnettiin muuten toteutetun kaltaisen tilanne, mutta kolmas kaista Pakilantien liittymästä Tuusulanväylälle oletettiin olevan alusta asti liikenteen käytössä. Vaihtoehtojen mallinnus perustui suunnitelmapiirustuksiin sekä Tielaitoksen työmaapäällikkö Ari Semilän kanssa käytyihin keskusteluihin ja häneltä saatuihin kaavakuviin.

Mallinnusalueen liikennemäärät arvioitiin alueella tämän työn yhteydessä tehtyjen liikennelaskentojen, Helsingin kaupungin vuosina 1996 ja 1998 tekemien liikennelaskentojen sekä pääkaupunkiseudun EMME/2-liikennemallin avulla. Tarkasteluvuosi oli 1998.

Työmaan aiheuttamien viivytysten vuoksi tapahtuvia liikenteen siirtymiä pyrittiin arvioimaan integroimalla HUTSIM-simuloinneissa saadut liikennevirta-kohtaiset viivytykset pääkaupunkiseudun EMME/2-malliin. EMME/2-sijoittelut osoittivat hyvin suuria siirtymiä, sillä paikoin lähes puolet autoilijoista siirtyi käyttämään muita reittejä. Tämä ei kuitenkaan ole todellisuudessa pitänyt paikkaansa, vaan suuri osa autoilijoista jäi käyttämään entistä reittiään suurista viivytyksistä huolimatta. Tästä johtuen EMME/2:lla mallinnettuja liikenteen siirtymiä ei käytetty HUTSIMissa.

Työnaikaisen liikenteen mallinnuksessa otettiin huomioon työmaan aikana havaitut liikenteen erityisominaisuudet. Osa Kehä I:tä lännestä itään Tuusulantien yli suuntautuvasta liikenteestä ei ajanut kaistaopasteiden mukaisesti, vaan ajoi oikeaa kaistaa erkanemispisteeseen saakka pyrkien vasta siellä vaihtamaan kaistaa ja näin ohittamaan suuren osan jonoa. Nämä autoilijat tukkivat usein Tuusulantielle suuntautuvan liikenteen kaistan ja haittasivat Kehä I:tä jatkavan liikenteen sujuvuutta. Tämä liikennevirta jaettiin mallissa kahteen osaan. Osa liikennevirrasta mallinnettiin röyhkeinä kuljettajina, jotka

kiilaavat välittömästi kaistan loppuessa viereiselle kaistalle ja osa mallinnettiin herrasmiesmäisinä, arkoina kuljettajina, jotka huomatessaan kaistansa loppuvan odottavat, kunnes viereiseltä kaistalta annetaan heille tietä tai kaistalta muuten löytyy riittävän suuri aikaväli.

Simulointitulosten perusteella havaitaan toteutetun järjestelyn aikana mallin ajoneuvojen keskimääräisten matka-aikojen olleen iltahuipputuntina 5.3 minuuttia. Kaksivuotisella järjestelyllä matka-aikojen keskiarvo olisi ollut 3.5 minuuttia. Rakennustyön valmistuttua vastaava luku on 2.1 minuuttia. Mikäli nyt toteutetussa työnaikaisessa järjestelyssä Kehä I:llä itään olisi alusta asti ollut käytössä kolmas kaista Pakilan liittymästä Tuusulanväylälle, oltaisiin huipputuntien matka-ajoissa säästetty ajoneuvoa kohden keskimäärin 20 sekuntia, yhteensä noin 14 tuntia huipputuntia kohden.

Suurimmat viivytykset toteutettu työmaajärjestely aiheutti Kehä I:tä käyttävälle Tuusulanväylän ylittävälle liikenteelle. Tämän liikennevirran viivytys valmiiseen tilanteeseen nähden huipputuntina oli yli viisi minuuttia ja päivä-tuntinakin 1-2 minuuttia.

Kokonaisuutena eri vaihtoehtojen aiheuttamat viivytykset ja yksityiskohtaiset laskelmat on esitetty liitteessä 1.

Mallinnettu liikennetilanne vastasi hyvin työaikana toteutunutta tavanomaista iltahuipputuntia. Esimerkiksi Kehä I:llä itään jonot ulottuivat simuloinneissa hieman Pakilantien siltaa pitemmälle. Simulointien tulokset vastaavat tätä liikennetilannetta. Työmaan aikana jonot ulottuivat useimmiten Pakilantien sillan tienoille, mutta yksittäisinä huipputunteina selvästi pitemmälle, jopa Hämeenlinnanväylälle asti. Tällöin viivytykset nousivat selvästi tässä arvioituja suuremmiksi.

Laskelmat osoittavat, että 2+2-kaistaisella vaihtoehdolla aiheutuneet kokonaisviivytykset olisivat jääneet 1+1-kaistaista vaihtoehtoa pienemmiksi. Laskelmat osoittavat myös, että työmaan alkuvaiheessa rakennetulla kolmannella kaistalla Kehä I:llä itään välillä Pakilantien liittymä - Tuusulanväylä olisi säästetty viivytyksiä muuttamalla Pakinkylän liittymän rakennustyön vaiheistusta. Laskelmat poikkeavat osittain merkittävästikin aiemmin karkeamilla menetelmillä tehdyistä tarkasteluista. Tulokset osoittavat, että mikrosimulointi on käyttökelpoisin menetelmä tehtäessä monimutkaisia liikenteellisiä tarkasteluja.

Liikenteelle aiheutuvat aikakustannukset (karkea menetelmä)

Työmaasta Kehä I:n liikenteelle aiheutuneiden viivytyksien aikakustannuksia on arvioitu seuraavasti:

- ruuhka-aikoina (1,5 h aamulla ja 1,5 h iltapäivällä) työmaan aiheuttama viivytys 5 min./ajoneuvo, liikenne 5000 - 5500 ajoneuvoa tunnissa
- päivällä ruuhka-aikojen ulkopuolella (klo 8.30 - 18.00) viivytys 2 min./ajoneuvo, liikenne 3000 ajoneuvoa tunnissa
- muina aikoina (myös viikonloppuina) viivytys 1 min./ajon., liikenne 19 500 ajoneuvoa vuorokaudessa.

Viivytyksiä kertyy kuukaudessa runsaat 56 000 ajoneuvotuntia. Liikenteen keskimääräisen aikakustannuksen (59 mk/h) mukaan laskettuna syntyy kustannuksia kuukaudessa noin 3,3 milj.mk ja vuodessa noin 36 milj.mk. Suuruusluokan hahmottamiseksi voidaan todeta, että tämän yhden vuoden viivytykset laskisivat hankkeen hyötykustannussuhdetta 0,23:lla (2,6 -> 2,37).

Edellä oleva laskelma on suuntaa-antava. Laskelma on viivytysten osalta tehty melko varovaisilla lähtöarvoilla, koska tarkkoja mittaustietoja ei ollut käytettävissä. Myös laskelman liikennemäärät Kehä I:llä ovat pienempiä kuin työmaan päättymisen jälkeen, eli osa liikenteestä on käyttänyt työmaan vuoksi toista reittiä, joka on hitaampi kuin normaalisti toimivaa Kehä I. Laskelmassa eivät ole mukana Tuusulanväylää pitkin kulkevalle liikenteelle aiheutuneet viivytykset eikä Kehä I:ltä lännestä Hämeenlinnanväylälle pohjoiseen tai Pakilantielle kääntyvälle liikenteelle aiheutuneet viivytykset.

Ruuhka-aikana Kehä I:llä Pakinkylän liittymän kohdalla yhden minuutin viivytys arkipäivinä aiheuttaa liikenteelle aikakustannuksia noin 350 000 mk kuukaudessa.

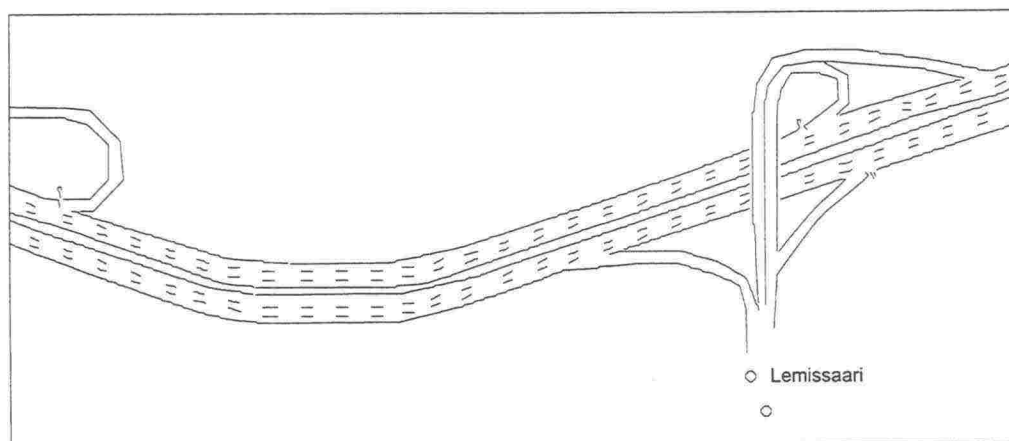
4.3 Länsiväylän meluestetyömaa

Länsiväylän varrelle Lauttasaareen rakennettiin melunsuojaus molemmille puolille moottoritietä. Työn aikana tie oli pääosin 2+2-kaistainen reunimaisten joukkoliikennekaistojen ollessa työmaan käytössä. Joukkoliikenteen liittyminen muun ajoneuvoliikenteen joukkoon jonoutti liikennettä työmaan kohdalla ruuhka-aikoina, muulloin työmaa ei aiheuttanut häiriötä liikenteelle. Sekä erkanemis- että liittymiskaistat olivat hyvin lyhyet, mikä osaltaan vaikeutti ruuhka-aikoina liittymistä moottoritiele.

HUTSIM-tarkastelu

Tarkastelua varten muodostettiin HUTSIM-malli, joka käsitti Länsiväylän sen itäpäästä Porkkalankadulta Kehä I:n liittymään asti. Itäpäässä malliin kuului myös Länsiväylälle tulevaa ja sieltä poistuvaa liikennettä säätelevät liikennevalot. Valo-ohjaus kuvattiin todellista tilannetta vastaavasti (Sane 1998).

HUTSIM-mallit muodostettiin erikseen työaikaista tilannetta ja normaalia tilannetta vastaavasti. Mallien pääasiallinen ero oli, että työaikaaisessa mallissa linja-autokaistat olivat lyhyitä liittymis- ja erkanemisramppeja lukuunottamatta poikki välillä Hanasaari - Lemissaari. Osa normaalia tilannetta kuvaavasta simulointimallista on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10 Lemissaaren ja Katajaharjun liittymien välinen osa normaalia tilannetta kuvaavassa HUTSIM-mallissa.

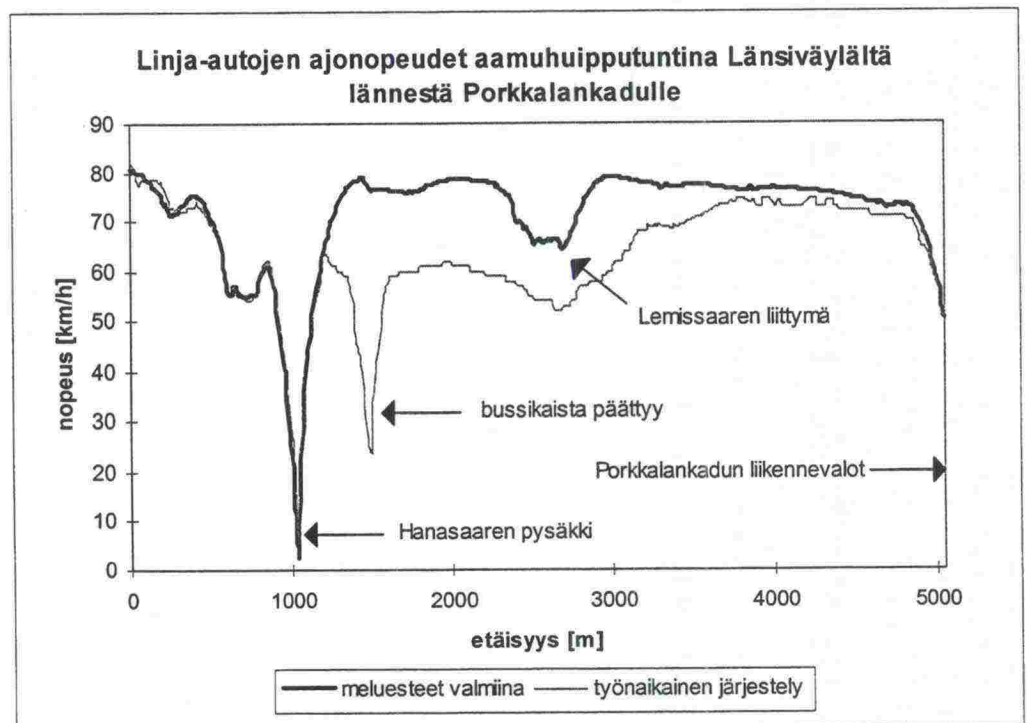
Simuloinneissa käytetyt liikennemäärät arvioitiin Länsiväylän automaattisten mittauspisteiden ja Helsingin kaupungin tekemien liikennelaskentojen perusteella. Tarkasteluvuosi oli 1998.

Koska työmaajärjestely vaikutti erityisen voimakkaasti linja-autoihin, arvioitiin huipputuntina Länsiväylää käyttävien linja-autojen määrä erityisen tarkasti. Linja-autojen määrät selvitettiin aikataulujen avulla.

Simulointitarkastelujen perusteella voidaan mallin todeta tyydyttävästi kuvaavan alueella esiintynyttä todellista liikennetilannetta. Aamuhuipputuntitalanteessa liikenne ruuhkautui Kehä I:n liittymän itäpuolella Otaniemestä tulevan suuren liikennevirran johdosta. Ruuhka alkoi helpottaa hieman Katajaharju-Lemissaari -välillä, kunnes liikennevirta taas hidastui Porkkalankadun

liikennevalojen vuoksi. Iltahuipputuntina liikenne ruuhkautui Länsiväylällä länteenpäin menevällä suunnalla. Ruuhkautuminen oli vähäisempää kuin aamulla Länsiväylällä itäänpäin, sillä Porkkalankadun liikennevalot säätelevät iltahuipputuntina Länsiväylälle pääsevää liikennettä. Pahimmat ongelmat iltahuipputuntina esiintyivät Lemissaaren liittymästä tulevan liikennevirran liittyessä Länsiväylälle.

Matka-aika-analyysit osoittavat ajoneuvojen keskimääräisten viivytysten olevan työaikaisten järjestelyjen aikana huipputuntina noin minuutin normaalitylantetta suurempia. Suurimmat viivytykset tulevat linja-autoille, joilla viivytysten ajallinen arvo edelleen moninkertaistuu huipputuntien suurten matkakustajamäärien vuoksi. Linja-auton keskimääräinen matka-aikakäyrä työmaan aikana ja normaalitilanteessa aamuhuipputuntina Länsiväylällä itään on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11 Linja-auton matka-aikakäyrät HUTSIM-tarkastelun mukaan aamuhuipputuntina Länsiväylällä itään työmaan aikana ja normaalitilanteessa.

Yhden huipputunnin aikana työmaan aiheuttama viivytys on simulointien perusteella 224 tuntia. Yksityiskohtaiset laskelmat on esitetty liitteessä 2.

Liikenteelle aiheutuvat aikakustannukset (karkea menetelmä)

Työmaasta Länsiväylän liikenteelle aiheutuneiden viivytyksien aikakustannuksia on arvioitu seuraavasti:

- ruuhka-aikoina (1,5 h aamulla ja 1,5 h iltapäivällä) työmaan aiheuttama viivytys ruuhkasuunnassa 3 min./ajoneuvo, liikenne aamulla 4000 ajoneuvoa tunnissa ja illalla 3500 ajoneuvoa tunnissa
- muina aikoina ei viivytystä

Viivytyksiä kertyy kuukaudessa noin 12 000 ajon.h. Liikenteen keskimääräisen aikakustannuksen (59 mk/h) mukaan laskettuna syntyy kustannuksia kuukaudessa noin 700 000 mk ja vuodessa noin 7,6 milj.mk.

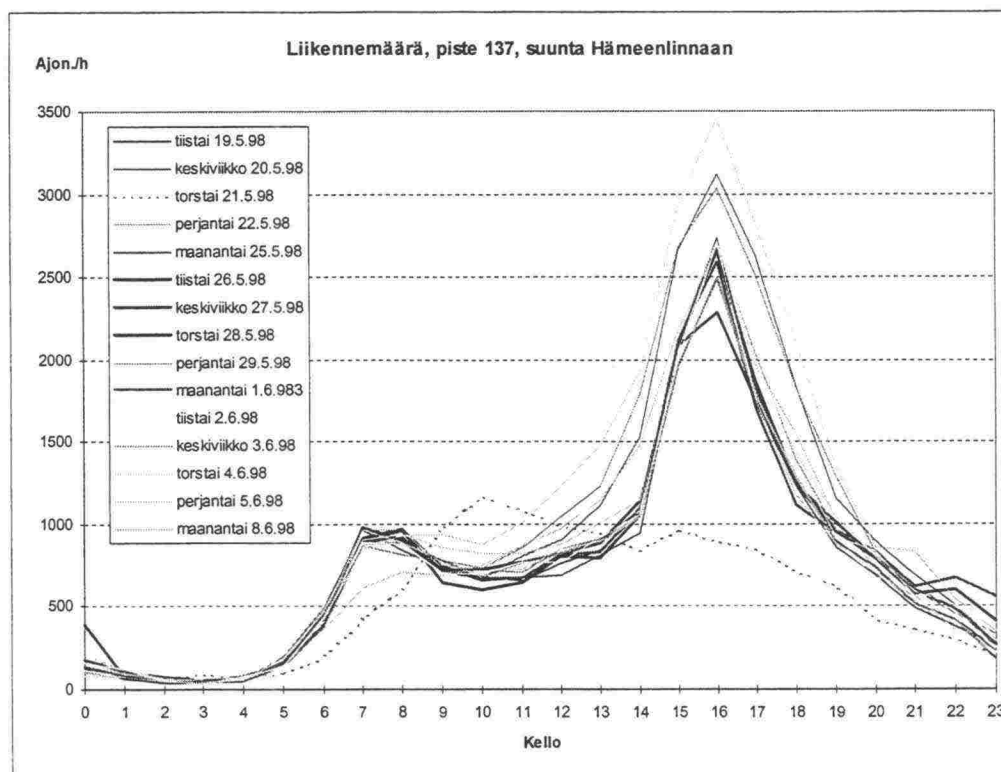
Tämäkin laskelma on viivytysten osalta tehty varsin varovaisilla lähtöarvoilla. Ruuhka-aikana Länsiväylällä Lauttasaaren länsipuolella yhden minuutin viivytys arkipäivinä aiheuttaa liikenteelle aikakustannuksia noin 230 000 mk kuukaudessa.

4.4 Hämeenlinnanväylän päällystystyömaa

Hämeenlinnanväylällä pohjoiseen johtavalla ajoradalla päällystettiin ajokaista toukokuun lopussa 1998. Normaalisti käytännöstä poiketen työtä tehtiin myös ruuhka-aikana. Päällystystyömaasta tiedotettiin mm. radiossa ja suositeltiin rinnakkaistien käyttämistä, mutta kaikesta huolimatta työmaa aiheutti iltahuippuna tielle pitkät jonot.

Työmaa-alueen ohittaa normaalisti iltahuipputuntina noin 1400-1500 ajoneuvoa tunnissa. Nopeusrajoitus kesällä on 120 km/h. Päällystetyömaan molemmilla puolilla on LAM-pisteet. Niistä saadaan tietoja liikenteen sujuvuudesta ennen töiden aloittamista, niiden aikana sekä jälkeen.

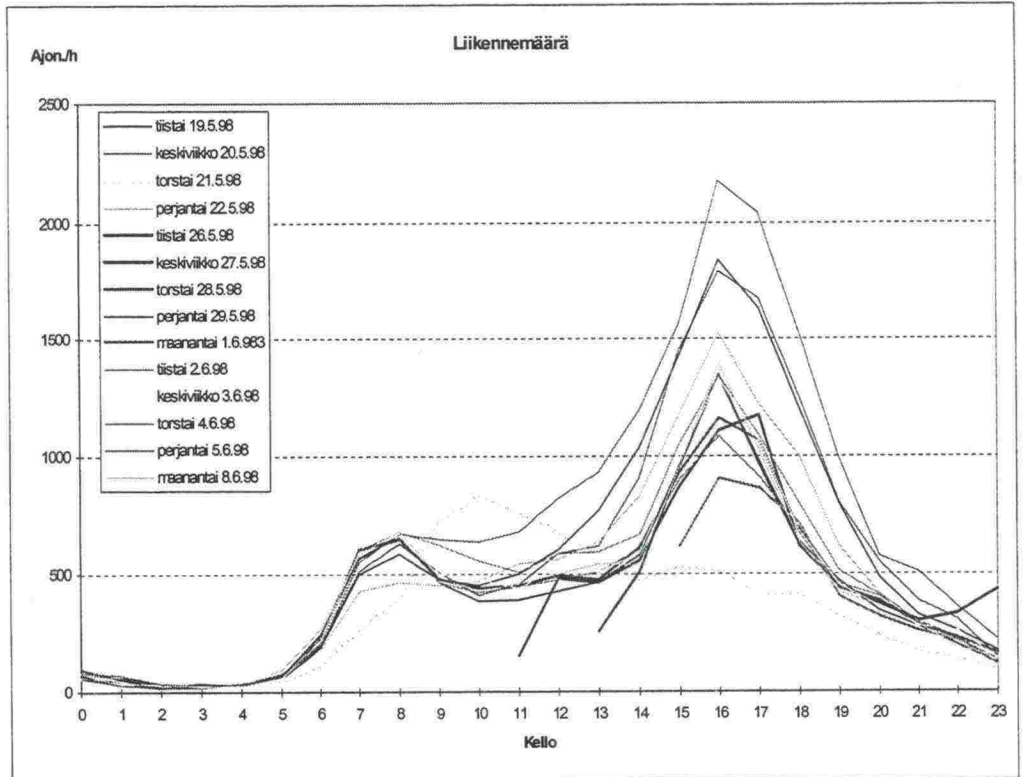
Kuvassa 12 on esitetty arkipäivien liikennemäärät LAM-pisteessä 137 (Keimola) suunta pohjoiseen. Liikenteen määrät ja tuntivaihtelut eri päivinä ovat hyvin saman kaltaisia. Ainoa poikkeava päivä on helatorstai 21.5.1998. Kuvan liikenne ei kokonaisuudessaan jatka työmaana olleelle osuudelle, vaan osa poistuu ennen sitä Klaukkalan liittymästä. Päällystystyöpäivien kuvaajat on esitetty paksummilla viivoilla.



Kuva 12

Liikennemäärät LAM-pisteessä 137 kevätkesällä 1998

Kuvassa 13 on vastaava kuva työmaan pohjoispuolelta. Päälystystyömaasta aiheutunut liikenteen häiriintyminen näkyy liikenteen määrissä ja jakautumisissa selkeästi.



Kuva 13 Liikennemäärät LAM-pisteessä 108 kevätkesällä 1998

Työmaa-alueen on töiden ollessa käynnissä läpäissyt noin 1200 ajoneuvoa tunnissa, eli huipputuntina jonoon jäi noin 200-300 ajoneuvoa. Työmaan kapasiteetti on ulkomaisten tutkimustuloksien vaihteluvälien alarajalla. Osatekijänä on varmasti liikennevirran häiriintyminen, mutta liikenteen ohjausjärjestelyt työkohteessa vaikuttanevat myös kapasiteettia alentavasti.

Työmaa toteutettiin normaaliin tapaan, eli työ ajaksi nopeusrajoitus ennen työmaata alennettiin 80 km/h:iin ja työmaan kohdalla 50 km/h:iin. Liikenne ohjattiin työmaan kohdalla ohituskaistalle.

Liikenteelle aiheutuvat aikakustannukset (karkea menetelmä)

Työmaasta viikon aikana liikenteelle aiheutuneiden viivytyksien aikakustannuksia on arvioitu seuraavasti:

- iltahuippuna (klo 16-18) työmaan aiheuttama viivytys 6 min./ajoneuvo, liikenne 4200 ajoneuvoa
- ruuhka-aikojen ulkopuolella (klo 6 - 16 ja klo 18-22) viivytys 1 min./ajoneuvo, liikennettä 7000 ajoneuvoa

Viivytyksiä kertyy yhteensä 2900 ajon.h. Keskimääräisen aikakustannuksen (59 mk/h) mukaan viivytyksistä aiheutui liikenteelle työmaan aikana kustannuksia 170 000 mk.

Jos työmaa olisi toteutettu normaaliin tapaan eli siten, että töitä ei tehdä ruuhka-aikana, olisi työmaan kesto ollut yhden arkipäivän pidempi. Työmaa olisi aiheuttanut noin yhden minuutin viivytyksen koko vuorokauden ajan. Viivytyksiä olisi kertynyt yhteensä noin 1000 ajon.h ja aikakustannukset olisivat olleet työmaan aikana noin 56 000 mk. Työmaan nopeuttamisesta aiheutui liikenteelle siis runsaan 110 000 mk:n lisäkustannus.

Summa on hyvin pieni aikaisempiin esimerkkeihin verrattuna. Kuitenkin työmaan yllätyksellisyys ja ajankohta aiheuttivat huomattavasti sen rahallista arvoa enemmän kielteistä julkisuutta Tielaitokselle ja tienpidolle yleensä.

4.5 Esimerkki toistuvista siltojen liikuntasaumojen korjaamisesta

Siltojen, etenkin niiden liikuntasaumojen, korjaaminen on määrävälein toistuva toimenpide. Kunnostuksen ajaksi liikenteen käytössä olevaa tilaa joudutaan kaventamaan. Tämän työn yhteydessä selvitettiin haastatteluin korjaamisen olosuhteita ja mahdollisuuksia pienentää liikenteelle näistä työkohteista aiheutuvia ongelmia.

Pääkaupunkiseudulla sillat pyritään ensisijaisesti kunnostamaan kesällä, jolloin huipputunteina liikennettä on keskimääräistä vähemmän. Lyhytaikaiset työt tehdään pääasiassa öisin. Liikenteelle aiheutuva haitta pyritään minimoimaan.

Keskeisin siltatyömaan kesto pidentävä tekijä on betonin kuivuminen, jota ei voida työteknisin keinoin nopeuttaa. Siltakohteissa lisäkapasiteetin tarjoaminen työmaan ajaksi on usein käytännössä mahdotonta.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tulosten pohjalta voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

- Liikenteen sujuvuus tietyömaalla on tärkeä asia, joka tulee suunnittelun yhteydessä varmistaa ja johon kannattaa toteutuksessa sijoittaa. Tietyömaalla syntyvien viivytysten aikakustannukset voivat olla suuret, jopa miljoonia markkoja kuukaudessa.
- Suurissa tiehankkeissa projektimuotoinen, yhdistetty suunnittelu- ja toteutusorganisaatio luo mahdollisuudet toimivien työmaajärjestelyjen toteuttamiselle. Jotta liikenteen sujuvuuden hoito työmaalla ei joutuisi kulu-
jen minimoinnin vuoksi toissijaiseksi tehtäväksi tulisi joko sujuvuudelle asettaa jotkin selkeät tavoitteet tai erottaa työnaikaisten järjestelyjen kustannukset muusta projektista.
- Kaikissa kohteissa, joissa liikenteen merkittävän ruuhkautumisen vaara on olemassa, tulisi työmaajärjestelyt suunnitella huolellisesti ja tutkia niiden toimivuus yksityiskohtaisesti. Toimivuustarkastelut tulee tehdä menetelmin, joilla voidaan ottaa huomioon työmaiden yksityiskohtaisista järjestelyistä ja liikenteelle mahdollisesti aiheutuvista häiriöistä johtuvat vaikutukset. Hyvin tarkoitukseen soveltuva menetelmä on liikenteen mikrosimulointi.
- HUTSIM on käyttökelpoinen ohjelma mm. työmaajärjestelyjen liikenteellisten vaikutusten simulointiin. Ohjelmalla pystytään arvioimaan työmaan vaikutukset liikenteen toimivuuteen ja aiheutuviin viivytyksiin huomattavasti perinteisiä menetelmiä paremmin ja luotettavammin.
- Tämän työn yhteydessä HUTSIMiin kehitetyt lisäominaisuudet ovat askel kehitettäessä korkealaatuista suomalaista liikenteen mikrosimulointiohjelmaa. Kaistanvaihtomallin kehittäminen on ollut yksi keskeisimmistä ohjelman kehitystarpeista (Lehmuskoski 1998). Raskaiden ajoneuvojen vaikutus liikennevirrassa on myös merkittävä. HUTSIMin kehitystyössä on otettu tärkeä askel korkealuokkaisten väylien liikenteen mikrosimulointia silmälläpitäen.
- Liikenteen häiriöt ja työmaaliikenteen osittain normaalista poikkeavat kuljettajien käyttäytymiseen liittyvät ilmiöt edellyttävät kuitenkin tutkimusta ja HUTSIMin jatkokehitystä. Kehitystyö sopii luontevimmin tehtäväksi esimerkkihankkeissa yhteistyössä TKK:n kanssa.
- Työnaikaisten järjestelyjen vuoksi liikutaan monesti liikenteen välityskyvyn ylärajoilla. Tällöin esimerkiksi yksittäinen häiriö, liikennekysynnän huippu tai odottamattomat sääolosuhteet voivat ruuhkauttaa liikenteen täysin ja jonot saattavat kasvaa normaaliin työnaikaiseen liikenteeseen nähden moninkertaisiksi. Toiminnallisissa tarkasteluissa tulee tämän vuoksi ottaa huomioon liikennejärjestelyiden toimivuuden herkkyyks edellämäinituille tekijöille. Mahdolliset pullonkaulatekijät ja niiden vaikutukset tulee tuleen toiminnallisissa tarkasteluissa pyrkiä ennakoimaan.

- Liikenteen käyttäytymisestä työmaa-alueilla tarvitaan lisää mittaustietoja. Erityisen tärkeitä selvittämiskohteita ovat:
 - mm. pientenkin poikkeuksellisten pysty- ja vaakageometristen elementtien vaikutus liikennevirran ominaisuuksiin ja liikenteen välityskykyyn
 - raskaiden ajoneuvojen käyttäytyminen em. kohteissa.
- Tehtyjen tutkimusten mukaan kuljettajat ajavat toisin kuin haastattelutilanteessa kertovat. Näin ollen siis vain työmaa-alueella mitattua tietoa voidaan käyttää mallien ja toimivuusarviointien pohjana.
- Karkealla laskelmalla voidaan jälkikäteen selvittää työmaasta aiheutuneiden viivytysten aikakustannukset. Laskelman tekeminen ennen työmaan avaamista ilman mallitarkastelua on hyvin vaikeaa, sillä liikenteen käyttäytymistä työmaaolosuhteissa on ainakin nykyisen tietämyksen avulla vaikeaa tarkasti ennakoida.
- Työmaaajärjestelyistä vilkasliikenteisillä teillä tulisi laatia ohjeet, joiden tavoitteina on yhtenäistää työmaiden liikennejärjestelyjen suunnittelu- ja toteutuskäytännöt siten, että minimoidaan järjestelyistä liikenteelle aiheutuvat viivytykset. Ohjeistuksen yhteydessä olisi hyvä kerätä mittaustietoja toteutuneista rakennuskohteista.

6 TOIMINTAOHJEET

Työmaan aikaisten liikennejärjestelyjen vaikutukset liikenteellisesti merkittä-
vissä kohteissa tulee selvittää yksityiskohtaisin menetelmin, kuten mikrosi-
muloimalla. Työmaan vaikutukset on aluksi hyvä selvittää karkealla laskel-
malla, jossa viivytyksistä aiheutuvia aikakustannuksia voi arvioida vaihtele-
malla liikenteelle aiheutuvan viivytyksen pituutta. Yksityiskohtainen analyysi
tulee edellyttää, mikäli:

- työkohde sijaitsee kaksiajorataisella pääväylällä, jolla tien kapasiteettia
joudutaan työn aikana vähentämään
- karkeasti arvioidut viivytykset ja niistä aiheutuvat kustannukset muodos-
tavat merkittäviksi
- työmaan liikennejärjestelyille tai työmaan kestolle on olemassa erilaisia
vaihtoehtoja
- työmaa-alueella on paljon sekoittuvia liikennevirtoja tai useita häiriöpis-
teitä
- tiegeometria työn aikana poikkeaa merkittävästi normaalioloista.

Liikenteelliset vaikutukset tulee selvittää hyvissä ajoin ennen työmaajärjes-
telyjä, esimerkiksi kun tarjousvaiheessa laaditaan urakka-asiakirjoja. Niihin
tulee tällöin sisällyttää analyysi työnaikaisten järjestelyjen vaikutuksista lii-
kenteen sujuvuuteen. Myös yhteiskuntataloudellinen laskelma työnaikaiselle
liikenteelle koituvista aikakustannuksista tulee laatia.

Työnaikaisen liikenteen toimivuustarkasteluihin tulee varata riittävästi aikaa.
Yksityiskohtainen vaikutusten mikrosimulointi edellyttää monipuolisia lähtö-
tietoja alueen liikenteestä. Tarvittavia lähtötietoja ovat ainakin:

- liikennevirtakohtaiset liikennemäärätiedot ajoneuvolajeittain
- yksityiskohtainen kuvaus työmaajärjestelyjen tiegeometriasta
- kuvaus työnaikaisesta liikenteen ohjauksesta
- mahdollisuudet työn vaiheittaiseen toteuttamiseen.

7 LÄHDELUETTELO

Kirjallisuutta

Enberg, Å., Mannan, M (1998). Capacity and Traffic Flow Characteristics at a Freeway Work Zone in Finland. Third International Symposium on Highway Capacity.

Hunt J. G. and Yousif S. Y. (1994). Traffic Capacity at Motorway Roadworks - Effects of Layout, Incidents and Driver Behaviour. Proceedings of the Second International Symposium on Highway Capacity, 1994, Volume 1, pp. 295-314.

Lehmuskoski V. (1998). Kehä III:n mikrosimulointimallin kehittäminen välille Ansatie-Kirkonkylä. Korkealuokkaisten väylien liikenteen mikrosimuloinnin kehittäminen. Tielaitoksen selvityksiä 22/1998. Tiehallinto, Uudenmaan tiepiiri. Helsinki. 149 s.

Papendrecht J. H. & Schuurman, H. (1991). Bottle-necks on freeways: Traffic operational aspects of roadworks. Highway Capacity and Level of Service, Brannolte (ed.). Balkema, Rotterdam. ISBN 90 5410 0117.

Parker M. T. (1996). The effect of heavy goods vehicles and following behaviour on capacity at motorway roadwork sites. Traffic Engineering & Control, 9/1996.

Pesti G., Jessen D., Byrd P., McCoy P. (1999). Traffic Flow Characteristics of the Late Merge Work Zone Control Strategy. Transportation Research Board 78th Annual Meeting January 1999.

VTI (1998). Road work zone behavioural studies. A literature review. ARROWS - A project within the Transport RTD Programme of the European Commission, DG VII.

Wolfram Ressel (1991). Traffic flow and capacity at work sites on freeways. Highway Capacity and Level of Service, Brannolte (ed.). Balkema, Rotterdam. ISBN 90 5410 0117.

Haastattelut

Jussi Borgenström	Tielaitos
Mikko Lehmuskoski	TKK
Paavo Mero	LT-Konsultit Oy
Jarkko Niittymäki	TKK
Lauri Salmi	Tielaitos
Kari Sane	Helsingin kaupunki
Ari Semilä	Tielaitos
Viljo Seppänen	Tielaitos
Esko Ypyä	Tielaitos
Paavo Ävist	LT-Konsultit Oy

8 LIITTEET

- 1 Pakinkylän eritasoliittymätyömaan HUTSIM-mallin perusteella lasketut kustannukset
- 2 Länsiväylän meluestetyömaan HUTSIM-mallin perusteella lasketut kustannukset
- 3 Laskelma Pakinkylän eritasoliittymätyömaan viivytyksistä ja kustannuksista (karkea taso)
- 4 Laskelma Länsiväylän meluestetyömaan viivytyksistä ja kustannuksista (karkea taso)
- 5 Laskelma Hämeenlinnanväylän päällystystyömaan viivytyksistä ja kustannuksista (karkea taso)

1 Pakinkylän eritasoliittymätyömaan HUTSIM-mallin perusteella lasketut viivytykset

HUTSIM-tarkastelujen perusteella lasketut matka-ajat							
Pakinkylä, toteutettu työmaajärjestely							
iltahuipputunti (IHT) 30 min jakso							
D = määränpää							
G = lähtöpaikka							
1 Tuusulantie pohjoinen							
2 Kehä I itä							
3 Tuusulantie eteläinen							
4 Pakilantie eteläinen							
5 Kehä I länsi							
6 Pakilantie pohjoinen							
9 Kehä I itä (erikoisryhmä 1)							
10 Kehä I itä (erikoisryhmä 2)							
11 Tuusulantie pohjoinen (erikoisryhmä 1)							
Ajoneuvojen keskimääräiset matka-ajat (minuuttia)							
Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	G6	All
D1	0,0	3,5	0,0	2,5	5,7	0,0	5,0
D2	1,7	0,0	1,1	2,9	8,6	0,0	7,5
D3	0,0	0,0	0,0	2,9	6,3	0,0	6,2
D4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	1,7
D5	2,1	7,9	3,0	0,0	0,0	0,4	3,2
D6	1,8	8,5	2,6	0,0	0,0	0,0	5,2
D9	0,0	0,0	0,0	3,5	6,7	0,0	6,4
D10	0,0	0,0	0,0	3,7	7,8	0,0	6,9
D11	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	0,0	5,2
All	2,1	7,6	1,8	3,2	6,0	0,4	5,3
Ajoneuvojen matka-aikojen summat (tuntia)							
Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	G6	All
D1	0,0	6,4	0,0	0,7	47,3	0,0	54,4
D2	1,0	0,0	1,4	0,7	127,0	0,0	130,1
D3	0,0	0,0	0,0	0,0	14,6	0,0	14,6
D4	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7	0,0	15,7
D5	14,2	105,1	1,5	0,0	0,0	2,2	123,0
D6	1,0	10,2	0,9	0,0	0,0	0,0	12,1
D9	0,0	0,0	0,0	0,1	1,1	0,0	1,2
D10	0,0	0,0	0,0	2,1	12,7	0,0	14,8
D11	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	1,8
All	16,2	121,7	3,8	3,6	220,2	2,2	367,7
Keskimääräiset viivytykset valmiiseen liittymään verrattuna (minuuttia)							
Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	G6	All
D1	0,0	2,4	0,0	0,9	2,7	0,0	2,3
D2	0,3	0,0	0,2	1,4	5,3	0,0	4,7
D3	0,0	ei reittiä	0,0	1,9	3,9	0,0	4,1
D4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2
D5	0,6	5,5	1,0	0,0	0,0	0,0	1,6
D6	0,4	6,0	0,7	0,0	0,0	0,0	3,3
D9	0,0	0,0	0,0	1,5	4,2	0,0	4,0
D10	0,0	0,0	0,0	1,7	4,6	0,0	4,0
D11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5
All	0,6	5,3	0,5	1,5	3,4	0,0	3,2

HUTSIM-tarkastelujen perusteella lasketut matka-ajat

Pakinkylä, kaksivuotinen 2+2 -kaistainen työmaajärjestely
iltahuipputunti (IHT) 30 min jakso

D = määränpää

G = lähtöpaikka

1 Tuusulantie pohjoinen

2 Kehä I itä

3 Tuusulantie eteläinen

4 Pakilantie eteläinen

5 Kehä I länsi

6 Pakilantie pohjoinen

9 Kehä I itä (erikoisryhmä 1)

10 Kehä I itä (erikoisryhmä 2)

11 Tuusulantie pohjoinen (erikoisryhmä 1)

Ajoneuvojen keskimääräiset matka-ajat (minuuttia)

Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	G6	All
D1	0,0	1,5	0,0	1,9	4,8	0,0	4,6
D2	1,6	0,0	1,1	2,1	5,7	0,0	5,1
D3	0,0	2,0	0,0	1,8	4,2	0,0	3,9
D4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	1,7
D5	1,8	3,2	2,3	0,0	0,0	0,4	2,1
D6	1,6	3,1	2,2	0,0	0,0	0,0	2,5
D9	0,0	0,0	0,0	2,6	5,7	0,0	5,1
D10	0,0	0,0	0,0	2,5	5,9	0,0	5,0
D11	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	0,0	5,1
All	1,8	3,0	1,6	2,1	4,4	0,4	3,5

Ajoneuvojen matka-aikojen summat (tuntia)

Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	G6	All
D1	0,0	2,4	0,0	0,6	39,2	0,0	42,2
D2	0,9	0,0	1,3	0,5	84,0	0,0	86,7
D3	0,0	0,7	0,0	0,0	8,7	0,0	9,4
D4	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7	0,0	15,7
D5	12,2	42,0	1,1	0,0	0,0	2,2	57,5
D6	0,9	2,8	0,7	0,0	0,0	0,0	4,4
D9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	0,0	0,9
D10	0,0	0,0	0,0	1,3	9,8	0,0	11,1
D11	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	1,6
All	14,0	47,9	3,1	2,5	159,8	2,2	229,5

Keskimääräiset viivytykset valmiiseen liittymään verrattuna (minuuttia)

Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	G6	All
D1	0,0	0,4	0,0	0,3	1,8	0,0	1,9
D2	0,2	0,0	0,2	0,6	2,4	0,0	2,3
D3	0,0	0,6	0,0	0,8	1,8	0,0	1,8
D4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2
D5	0,3	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,5
D6	0,2	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,6
D9	0,0	0,0	0,0	0,6	3,2	0,0	2,7
D10	0,0	0,0	0,0	0,5	2,7	0,0	2,1
D11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4
All	0,3	0,7	0,3	0,4	1,8	0,0	1,4

HUTSIM-tarkastelujen perusteella lasketut matka-ajat							
Pakinkylä, kuin toteutettu työmaajärjestely mutta Pakilasta itään kolmas kaista iltahuipputunti (IHT) 30 min jakso							
D = määränpää							
G = lähtöpaikka							
1 Tuusulantie pohjoinen							
2 Kehä I itä							
3 Tuusulantie eteläinen							
4 Pakilantie eteläinen							
5 Kehä I länsi							
6 Pakilantie pohjoinen							
9 Kehä I itä (erikoisryhmä 1)							
10 Kehä I itä (erikoisryhmä 2)							
11 Tuusulantie pohjoinen (erikoisryhmä 1)							
Ajoneuvojen keskimääräiset matka-ajat (minuuttia)							
Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	G6	All
D1	0,0	3,5	0,0	1,9	4,8	0,0	5,3
D2	1,7	0,0	1,1	2,6	8,6	0,0	7,4
D3	0,0	0,0	0,0	1,8	5,4	0,0	5,3
D4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	1,7
D5	2,1	7,9	3,0	0,0	0,0	0,4	3,2
D6	1,8	8,7	2,6	0,0	0,0	0,0	5,2
D9	0,0	0,0	0,0	3,4	6,5	0,0	7,1
D10	0,0	0,0	0,0	3,6	7,0	0,0	6,7
D11	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	0,0	5,8
All	2,1	7,6	1,8	3,0	5,6	0,4	5,0
Ajoneuvojen matka-aikojen summat (tuntia)							
Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	G6	All
D1	0,0	6,4	0,0	0,5	39,2	0,0	46,1
D2	1,0	0,0	1,4	0,6	126,1	0,0	129,1
D3	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	0,0	11,2
D4	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7	0,0	15,7
D5	14,2	105,1	1,5	0,0	0,0	2,2	123,0
D6	1,0	10,2	0,9	0,0	0,0	0,0	12,1
D9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	0,0	1,0
D10	0,0	0,0	0,0	2,0	11,2	0,0	13,2
D11	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	1,9
All	16,2	121,7	3,8	3,2	206,2	2,2	353,3
Keskimääräiset viivytykset valmiiseen liittymään verrattuna (minuuttia)							
Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	G6	All
D1	0,0	2,4	0,0	0,3	1,8	0,0	2,6
D2	0,3	0,0	0,2	1,1	5,3	0,0	4,6
D3	0,0	ei reittiä	0,0	0,8	3,0	0,0	3,2
D4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2
D5	0,6	5,5	1,0	0,0	0,0	0,0	1,6
D6	0,4	6,2	0,7	0,0	0,0	0,0	3,3
D9	0,0	0,0	0,0	1,4	4,0	0,0	4,7
D10	0,0	0,0	0,0	1,6	3,8	0,0	3,8
D11	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,1
All	0,6	5,3	0,5	1,3	3,0	0,0	2,9

HUTSIM-tarkastelujen perusteella lasketut matka-ajat

**Pakinkylä, liittymä valmiina
iltahuipputunti (IHT) 30 min jakso**

D = määränpää

G = lähtöpaikka

- 1 Tuusulantie pohjoinen
- 2 Kehä I itä
- 3 Tuusulantie eteläinen
- 4 Pakilantie eteläinen
- 5 Kehä I länsi
- 6 Pakilantie pohjoinen
- 9 Kehä I itä (erikoisryhmä 1)
- 10 Kehä I itä (erikoisryhmä 2)
- 11 Tuusulantie pohjoinen (erikoisryhmä 1)

Ajoneuvojen keskimääräiset matka-ajat (minuuttia)

Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	G6	All
D1	0,0	1,1	0,0	1,6	3,0	0,0	2,7
D2	1,4	0,0	0,9	1,5	3,3	0,0	2,8
D3	0,0	1,4	0,0	1,0	2,4	0,0	2,1
D4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	1,5
D5	1,5	2,4	2,0	0,0	0,0	0,4	1,6
D6	1,4	2,5	1,9	0,0	0,0	0,0	1,9
D9	0,0	0,0	0,0	2,0	2,5	0,0	2,4
D10	0,0	0,0	0,0	2,0	3,2	0,0	2,9
D11	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	0,0	4,7
All	1,5	2,3	1,3	1,7	2,6	0,4	2,1

Ajoneuvojen matka-aikojen summat (tuntia)

Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	G6	All
D1	0,0	1,8	0,0	0,5	25,0	0,0	27,3
D2	0,8	0,0	1,2	0,5	48,8	0,0	51,3
D3	0,0	0,5	0,0	0,0	4,9	0,0	5,4
D4	0,0	0,0	0,0	0,0	13,9	0,0	13,9
D5	10,2	32,0	1,0	0,0	0,0	2,2	45,4
D6	0,8	2,1	0,6	0,0	0,0	0,0	3,5
D9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,5
D10	0,0	0,0	0,0	1,0	5,3	0,0	6,3
D11	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,3
All	11,8	36,4	2,8	2,1	99,6	2,2	154,9

2 Länsiväylän meluestetyömaan HUTSIM-mallin perusteella lasketut viivytykset

HUTSIM-tarkastelujen perusteella lasketut matka-ajat

Länsiväylä bussikaistat valmiina, iltahuipputunti 30 min jakso

D = määränpää

G = lähtöpaikka

1 Länsiväylä länsi	7 Katajajarjuun BUSSI
2 Otaniemi	8 Porkkalankadulle itään BUSSI
3 Katajajarju	9 Otaniemeen BUSSI
4 Maamonlahti / Lemissaari	10 Tapiolaan
5 Länsiväylän itäpää	11 Porkkalankadulle länteen
6 Länsiväylälle länteen BUSSI	12 Tapiolaan BUSSI

Ajoneuvojen keskimääräiset matka-ajat (minuuttia)

Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	All
D1	0,0	0,0	2,2	4,0	7,3	5,7
D2	0,0	0,0	2,1	3,9	7,2	5,8
D3	1,7	1,8	0,0	0,0	0,0	1,7
D4	2,6	2,7	0,0	0,0	4,2	3,1
D5	5,7	5,9	0,0	4,1	0,0	5,7
D6	0,0	0,0	2,2	0,0	6,0	5,5
D7	1,8	2,3	0,0	0,0	0,0	1,8
D8	4,4	4,6	0,0	0,0	0,0	4,5
D9	0,0	0,0	2,2	0,0	5,8	3,1
D10	0,0	0,0	2,2	4,0	7,2	5,5
D11	4,9	4,9	0,0	3,2	0,0	4,7
D12	0,0	0,0	2,5	0,0	5,8	4,0
All	4,2	4,8	2,2	3,9	6,9	5,1

Ajoneuvojen matka-aikojen summat (tuntia)

Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	All
D1	0,0	0,0	1,5	27,1	63,9	92,5
D2	0,0	0,0	0,8	12,8	38,8	52,3
D3	4,5	1,9	0,0	0,0	0,0	6,4
D4	6,8	2,1	0,0	0,0	6,9	15,8
D5	37,0	25,2	0,0	3,1	0,0	65,4
D6	0,0	0,0	0,1	0,0	3,3	3,4
D7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
D8	2,2	0,4	0,0	0,0	0,0	2,6
D9	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,3
D10	0,0	0,0	0,3	5,3	10,3	15,9
D11	7,6	1,1	0,0	0,7	0,0	9,4
D12	0,0	0,0	0,3	0,0	0,7	1,0
All	58,3	30,8	3,1	49,1	124,0	265,3

HUTSIM-tarkastelujen perusteella lasketut matka-ajat**Länsiväylä työmaan aikana, iltahuipputunti 30 min jakso**

D = määränpää

G = lähtöpaikka

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 1 Länsiväylä länsi | 7 Katajaharjuun BUSSI |
| 2 Otaniemi | 8 Porkkalankadulle itään BUSSI |
| 3 Katajaharju | 9 Otaniemeen BUSSI |
| 4 Maamonlahti / Lemissaari | 10 Tapiolaan |
| 5 Länsiväylän itäpää | 11 Porkkalankadulle länteen |
| 6 Länsiväylälle länteen BUSSI | 12 Tapiolaan BUSSI |

Ajoneuvojen keskimääräiset matka-ajat (minuuttia)

Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	All
D1	0,0	0,0	2,5	6,1	11,0	8,6
D2	0,0	0,0	2,5	6,4	10,8	8,7
D3	2,0	2,1	0,0	0,0	0,0	2,0
D4	3,0	3,1	0,0	0,0	5,6	3,9
D5	6,0	6,2	0,0	5,6	0,0	6,1
D6	0,0	0,0	3,1	0,0	11,0	9,2
D7	2,1	2,6	0,0	0,0	0,0	2,1
D8	6,2	6,1	0,0	0,0	0,0	6,2
D9	0,0	0,0	2,9	0,0	11,0	9,2
D10	0,0	0,0	2,5	6,0	9,8	8,1
D11	5,9	6,0	0,0	4,6	0,0	5,8
D12	0,0	0,0	2,5	0,0	10,4	9,2
All	4,6	5,3	2,5	6,1	10,5	7,0

Ajoneuvojen matka-aikojen summat (tuntia)

Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	All
D1	0,0	0,0	1,7	42,2	98,6	142,8
D2	0,0	0,0	0,9	21,5	59,4	80,4
D3	5,2	2,2	0,0	0,0	0,0	7,4
D4	8,0	2,5	0,0	0,0	9,4	20,4
D5	39,6	27,1	0,0	4,4	0,0	71,3
D6	0,0	0,0	0,2	0,0	6,2	5,8
D7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
D8	3,2	0,6	0,0	0,0	0,0	3,7
D9	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,8
D10	0,0	0,0	0,4	8,1	14,2	23,8
D11	9,2	1,4	0,0	1,1	0,0	11,8
D12	0,0	0,0	0,3	0,0	1,2	2,4
All	65,2	34,7	3,6	78,2	191,8	372,2

HUTSIM-tarkastelujen perusteella viivytykset**Länsiväylä työmaan aikana, iltahuipputunti 30 min jakso**

D = määränpää

G = lähtöpaikka

1 Länsiväylä länsi	7 Katajajarjuun BUSSI
2 Otaniemi	8 Porkkalankadulle itään BUSSI
3 Katajajarju	9 Otaniemeen BUSSI
4 Maamonlahti / Lemissaari	10 Tapiolaan
5 Länsiväylän itäpää	11 Porkkalankadulle länteen
6 Länsiväylälle länteen BUSSI	12 Tapiolaan BUSSI

Keskimääräiset viivytykset normaalitilanteeseen verrattuna (minuuttia)

Reitti	G1	G2	G3	G4	G5	All
D1	0,0	0,0	0,3	2,1	3,7	2,9
D2	0,0	0,0	0,4	2,5	3,6	2,9
D3	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3
D4	0,4	0,4	0,0	0,0	1,4	0,8
D5	0,3	0,3	0,0	1,5	0,0	0,4
D6	0,0	0,0	0,9	0,0	5,0	3,7
D7	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3
D8	1,8	1,5	0,0	0,0	0,0	1,7
D9	0,0	0,0	0,7	0,0	5,2	6,1
D10	0,0	0,0	0,3	2,0	2,6	2,6
D11	1,0	1,1	0,0	1,4	0,0	1,1
D12	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	5,2
All	0,4	0,5	0,3	2,2	3,6	1,9

Huipputuntina viivytyksiä aiheutuu henkilöautoille keskimäärin 1.8 minuuttia

Huipputuntina viivytyksiä aiheutuu linja-autoille keskimäärin 4 minuuttia

3 Laskelma Pakinkylän eritasoliittymätyömaan viivytyksistä ja kustannuksista (karkea taso)

Viivytykset, Pakinkylän liittymä Kehä I:n suunnassa					
arki	klo	tunteja	liikenne	viivytys/ajon.	viivytys (h)
aamu	7.00-8.30	1,5	5500	5	688
päivä	8.30-15.30	7	3000	2	700
ilta	15.30-17.00	1,5	5000	5	625
päivä	17.00-18.00	1	3000	2	100
yö	18.00-7.00	13	1500	1	325
Yht.		24	59250		2438
la, su					
kaikki	00.00-24.00	24	1250	1	500

Kustannukset kuukaudessa	
56 188 h	Aikakustannus (90 % kevyt ja 10 % raskas)
x	58,76
59 mk/h	
=	
3 301 578 mk	

Kustannukset vuodessa	
36 317 353 mk	HK-suhde 2,60
	Hyödyt 429,00
	Hyödyt-viivytykset 390,50
	Korjattu hk-suhde 2,37

4 Laskelma Länsiväylän meluestetyömaan viivytyksistä ja kustannuksista (karkea taso)

Viivytykset, Länsiväylän meluestetyömaa						
arki	klo	tunteja	liikenne		viivytys/ajo viivytys (h)	
aamu	7.30-9.00	1,5	4000	3	300	
päivä	9.00-15.30	6,5	2500	0	0	
ilta	15.30-17.00	1,5	3500	3	263	
päivä	17.00-18.00	1	2500	0	0	
yö	18.00-7.30	13,5	1000	0	0	
Yht.		24	43500			563
la, su						
kaikki	00.00-24.00	24	1250	0	0	
Kustannukset kuukaudessa						
11 813 h x 59 mk/h =			Aikakustannus (90 % kevyt ja 10 % raskas) = 58,76 mk/h			
694 103 mk						
Kustannukset/v =			7 635 128 mk			

Karkean tason laskelma kustannuksista HUTSIM-arvojen perusteella

Viivytykset, Länsiväylän meluestetyömaa (herkkyystarkastelu)						
arki	klo	tunteja	liikenne		viivytys/ajo viivytys (h)	
aamu	7.30-9.00	1,5	4000	3	300	
päivä	9.00-15.30	6,5	2500	0	0	
ilta	15.30-17.00	1,5	3500	1	88	
päivä	17.00-18.00	1	2500	0	0	
yö	18.00-7.30	13,5	1000	0	0	
Yht.		24	43500			388
la, su						
kaikki	00.00-24.00	24	1250	0	0	
Kustannukset kuukaudessa						
8 138 h x 59 mk/h =			Aikakustannus (90 % kevyt ja 10 % raskas) = 58,76 mk/h			
478 160 mk			mk/h			
Kustannukset/v =			5 259 755 mk			

Herkkyystarkastelu, jossa iltahuipputunnin viivytystä on pienennetty

5 Laskelma Hämeenlinnanväylän päällystystyömaan viivytyksistä ja kustannuksista (karkea taso)

Viivytykset, Hämeenlinnan päällystystyömaa (suunta pohjoiseen)						
normaali järjestely						
arki	klo	tunteja	liikenne	viivytys/ajon.	viivytys (h)	
aamu	7.00-8.00	1	500	1	8	
päivä	8.00-15.00	7	500	1	58	
ilta	15.00-18.00	3	1400	0,2	14	
yö	18.00-7.00	13	150	1	33	
Yht.		24	10150		113	
la, su						
kaikki	00.00-24.00	24	350	1	140	

Kustannukset koko työmaan ajalta (kuusi arkipäivää + viikonloppu)		
	Aikakustannus	
959 h	(90 % kevyt ja 10 % raskas)	
x	58,76 mk/h	
59 mk/h		
=		
56 351 mk		

käytetty järjestely						
arki	klo	tunteja	liikenne	viivytys/ajon.	viivytys (h)	
aamu	7.00-8.00	1	500	1	8	
päivä	8.00-15.00	7	500	1	58	
ilta	15.00-18.00	3	1400	6	420	
yö	18.00-7.00	13	150	1	33	
Yht.		24			519	
la, su						
kaikki	00.00-24.00	24	350	1	140	

Kustannukset koko työmaan ajalta (viisi arkipäivää + viikonloppu)		
	Aikakustannus	
2 876 h	(90 % kevyt ja 10 % raskas)	
x	58,76	
59 mk/h		
=		
168 984 mk		

